



Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CÁTOLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN REDES DE**  
**COMUNICACIONES**

**TÍTULO DE LA DISERTACIÓN**

“Análisis, Diseño y Simulación de una red FTTH GPON para la Población de la Parroquia  
de Checa de la Ciudad de Quito”

**NOMBRE**

Diego Javier Endara Estévez

QUITO, 2021

## **DEDICATORIA**

El presente logro obtenido se lo dedico a mi familia mama esposa y en especial a mi hija Estefanía Endara que es el pilar fundamental en mi vida que me da fuerzas día a día para salir adelante y no rendirme, también a mi familia que ya no está conmigo que por cuestiones de la vida se adelantaron y me están bendiciendo desde arriba.

Diego Javier Endara Estevez

## **AGRADECIMIENTO**

Tengo un especial agradecimiento a mi madre Lucia Estevez quien ha sido un ejemplo de vida y admiración en mi formación tanto personal como profesional.

Diego Javier Endara Estevez

## TABLA DE CONTENIDOS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CÁTOLICA DEL ECUADOR .....	i
FACULTAD DE INGENIERÍA .....	i
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
TABLA DE CONTENIDOS .....	iii
INDICE DE FIGURAS .....	vi
INDICE DE TABLAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
CAPITULO 1 .....	1
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.5 METODOLOGÍA .....	5
CAPITULO 2 .....	7
MARCO REFERENCIAL .....	7
2.1 Conceptos Generales de Fibra óptica .....	7
2.2 Redes FTTx .....	7
2.3 Comunicaciones por fibra óptica.....	8
2.4 Estándar de las Redes PON.....	8
2.5 Red de acceso .....	9

2.5.1 Red Fedder.....	10
2.5.2 Red de distribución.....	11
2.5.3 Red de acometida.....	11
2.6 Norma ITU-T G.984 parámetros de diseño .....	12
2.7 Tipos de Encuestas .....	14
2.8 Muestreo Aleatorio Simple .....	15
2.10 Simulador OptiSystem. ....	16
CAPITULO 3 .....	19
3.1 Análisis de cobertura de la red FTTH GPON en la parroquia Checa .....	19
3.1.1 Tamaño de la población y cálculo de la muestra.....	19
3.1.2 Encuesta a realizar .....	20
3.1.3 Análisis de resultados para determinar la cobertura.....	22
3.2 Diseño de una propuesta técnica para establecer cantidades, especificaciones técnicas de materiales y equipos necesarios para la red FTTH GPON de este proyecto. ....	26
3.2.1 Perspectiva del diseño de la red GPON FTTH en la parroquia de Checa. ....	26
3.2.2 Diseño para el despliegue de fibra óptica.....	29
3.2.3 Diseño de la topología de red .....	30
3.2.4 Calculo de presupuesto óptico.....	31
3.2.5 Calculo de presupuesto óptico.....	36
3.3 Simulación de la propuesta técnica, para la red GPON diseñada. ....	39
3.3.1 Simulación.....	40
3.3.2 Resultados obtenidos de la simulación en OptiSystem.....	44

3.3.3	Análisis de los resultados obtenidos de la simulación en OptiSystem.....	48
3.4	Análisis de propuesta técnica y tiempo de recuperación. ....	48
	Conclusiones.....	53
	Recomendaciones .....	54
	Bibliografía.....	55

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Arquitectura de red GPON, Diego Endara.....	10
Figura 3.1 Resultados de tabulación pregunta 1, Diego Endara.....	23
Figura 3.2: Resultados de tabulación pregunta 2, Diego Endara.....	23
Figura 3.3 Resultados de tabulación pregunta 3, Diego Endara.....	24
Figura 3.4 Resultados de tabulación pregunta 4, Diego Endara.....	24
Figura 3.5 Resultados de tabulación pregunta 5, Diego Endara.....	25
Figura 3.6 Resultados de tabulación pregunta 6, Diego Endara.....	25
Figura 3.7 Ruta de encuestas, Diego Endara .....	26
Figura 3.8 Ubicación del nodo principal, Diego Endara .....	28
Figura 3.9 Despliegue de la red de distribución, Diego Endara .....	30
Figura 3.10 Diseño de red FttH Gpon para la parroquia de Checa .....	31
Figura 3.11 Distancia al usuario lejano, Diego Endara .....	32
Figura 3.12 Distancia al usuario cercano, Diego Endara .....	34
Figura 3.13 Simulación de la red GPON en OptiSystem, Diego Endara .....	40
Figura 3.14 Simulación en OptiSystem de OLT red feeder, Diego Endara .....	41
Figura 3.15 Simulación en OptiSystem de ODN red de distribución, Diego Endara .....	42
Figura 3.16 Simulación en OptiSystem de red de acometida, Diego Endara.....	42
Figura 3.17 Simulación en OptiSystem de ONU, Diego Endara .....	43
Figura 3.18 Ponencia de llegada a la ONU del usuario lejano a 2.837 Km enlace downstream 1490 nm, Diego Endara .....	44
Figura 3.19 Diagrama de ojo, BER, Q factor, ONU del usuario lejano a 2.837 Km enlace downstream 1490 nm, Diego Endara .....	44
Figura 3.20 Ponencia de llegada a la OLT del usuario lejano a 2.837 Km enlace upstream 1310 nm, Diego Endara.....	45

Figura 3.21 Diagrama de ojo, BER, Q factor, llegada a OLT del usuario lejano a 2.837 Km enlace upstream 1310 nm, Diego Endara.....	45
Figura 3.22 Ponencia de llegada a la ONU del usuario cercano a 530 m enlace downstream 1490 nm, Diego Endara.....	46
Figura 3.23 Diagrama de ojo, BER, Q factor, ONU del usuario cercano a 530 m enlace downstream 1490 nm, Diego Endara .....	46
Figura 3.24 Ponencia de llegada a la OLT del usuario cercano a 530 m enlace upstream 1310 nm, Diego Endara.....	47
Figura 3.25 Diagrama de ojo, BER, Q factor, llegada a OLT del usuario cercano a 530 m enlace upstream 1310 nm, Diego Endara.....	47

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 .....	12
Tablas 2.2 .....	13
Tablas 3.1 .....	22
Tablas 3.2 .....	27
Tablas 3.3 .....	29
Tablas 3.4 .....	32
Tablas 3.5 .....	33
Tablas 3.6 .....	34
Tablas 3.7 .....	35
Tablas 3.8 .....	36
Tablas 3.9 .....	36
Tablas 3.10 .....	37
Tablas 3.11 .....	38
Tablas 3.12 .....	39
Tablas 3.13 .....	48
Tablas 3.14 .....	49
Tablas 3.15 .....	50
Tablas 3.16 .....	51
Tablas 3.17 .....	52
Tablas 3.18 .....	52

## **RESUMEN**

El presente trabajo de titulación propuesto inicia con estudios exploratorios debido a que en la parroquia Checa provincia de Pichincha no se ha realizado un análisis, diseño y simulación de una red FTTH GPON, los cuales permiten, obtener en su fase de análisis, datos de posibles usuarios, para posteriormente realizar un diseño de red FTTH GPON, tampoco se cuenta con una simulación que trabaje con el estándar ITU-T G.984, el cual permita obtener datos en los escenarios OLT, OND, ONT, para la certificación del enlace de fibra óptica.

En este trabajo se abordarán estudios descriptivos puesto que se utilizarán las siguientes herramientas con las que se realizará la investigación.

Se realiza una encuesta a la población de Checa provincia de Pichincha en la cual se toma como muestra de población el número total de hogares según los datos del INEC en su documento Promedio de Personas por Hogar (INEC I. N., Promedio de personas por hogar, 2010), datos que coinciden con la información del GAD parroquial Checa (GAD, 2021), para el análisis del despliegue de fibra óptica se toma en consideración la densidad poblacional de la parroquia.

Se realiza un diseño para obtener datos de equipos a emplear y una simulación para la certificación del enlace de fibra óptica mediante la norma ITU-T G.984 de la red GPON. Se tomará en consideración para el rango de acción las características técnicas de los equipos que se emplearan en el diseño de la red FTTH GPON.

## CAPITULO 1

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día la conexión a Internet es una parte fundamental de la sociedad, considerando que se ha convertido en el principal medio de comunicación a nivel global que utiliza la humanidad, abriendo la necesidad de mantener una conexión a este medio por distintas tecnologías.

Una de estas tecnologías se la conoce como FTTH GPON, que es en la que se centra este trabajo, se realiza un análisis de la aceptación que tiene la tecnología en la parroquia Checa basándose en encuestas realizadas de acuerdo a la densidad poblacional registrada en la página del INEC, determinando de esta forma el despliegue de fibra óptica que se requiere implementar en esta tecnología.

Posteriormente se realiza un diseño de la propuesta con el análisis del despliegue en la parroquia Checa, basándose en las cantidades y especificaciones técnicas de los equipos de acuerdo al número de abonados obtenidos en la fase de análisis, dejando como precedente una futura implementación de esta tecnología en la parroquia.

Una de las ventajas de hoy en día es poder contar con equipos informáticos que pueden simular estos sistemas, existe una gran cantidad de simuladores presentes en el mercado, en este trabajo se tomara en consideración dos simuladores OptiSystem y VPI Transmisión Maker los cuales se son los que se ajustan al diseño propuesto, de estos simuladores se escoge uno para la simulación del diseño propuesto en la parroquia de Checa, el cual certificara el despliegue propuesto.

En la última fase de análisis se realiza una propuesta técnico económica para determinar la inversión a realizar en la parroquia Checa en una posible implementación de esta tecnología, midiendo el tiempo de recuperación de capitales basándose en precios actuales en el mercado ecuatoriano.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Actualmente tener una conexión de Internet a nivel de hogar es necesario debido a que se tiene diversos tipos de servicios ya sean informativos, financieros, de entretenimiento, culturales, sociales, políticos, educativos a nivel de población. Su uso se ha visto elevado por la crisis sanitaria de COVID 19 que atraviesa el mundo entero, migrando desde las oficinas de trabajo, aulas de clase, reuniones presenciales, ventas en centros comerciales, actos sociales y culturales a espacios digitales que requieren una conexión a Internet, ya que todos los eventos producen aglomeraciones las cuales están restringidas imposibilitando un desarrollo normal de las actividades presenciales.

Según la encuesta multipropósito de Tecnologías de la Información y Comunicación del Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censo el porcentaje de hogares con internet en el 2019 fue de 45,5%, mientras que a finales del año 2020 a casi un año de pandemia el porcentaje de hogares con acceso a internet fue del 53,2% creciendo en 12 meses un 7.7% a nivel nacional, (INEC I. N., Tecnologías de la Información y Comunicación-TIC, 2020). Tomando como referencia estos datos de crecimiento se plantea un análisis técnico económico previo a una posible implementación.

A nivel emprendimiento se requiere un análisis, diseño y simulación para la obtención de presupuestos, diseños técnicos y proyección de réditos económicos previo a la inversión de capitales siendo este tipo de estudios una aproximación previa a una implementación lo cual ahorra recursos económicos.

La parroquia Checa vive esta nueva realidad y consigo un crecimiento acelerado del uso de este tipo de servicio, en la actualidad esta población cuenta con pocos proveedores de Internet de fibra óptica limitando la cobertura y la comunicación. El presente diseño servirá para verificar la factibilidad técnica económica de una futura implementación cubriendo la demanda de conexión a su población.

Basándose en los datos poblacionales del Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC el cual dice que en la parroquia de Checa ciudad de Quito hay “2331 hogares conformados” (INEC I. N., Promedio de personas por hogar, 2010), se tomará una muestra poblacional para realizar encuestas en la parroquia Checa logrando saber si cuentan con Internet, su costo, la calidad de servicio que reciben y si estarían dispuestos a contratar un nuevo proveedor, lo cual arrojará datos para realizar un diseño técnico económico el cual ayudara a determinar la rentabilidad previo una inversión de capitales ahorrando recursos económicos.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente se dispone de un grupo poblacional de emprendedores que proponen participar en el capital de un proyecto empresarial enfocado a las tecnologías de la información en este caso redes FTTH GPON, estas inversiones suelen ser elevadas en su fase inicial debido a que se requiere de infraestructura tecnológica y un despliegue de cobertura a usuarios finales lo que implica un riesgo en el tiempo al no obtener réditos o recuperar el capital invertido.

Este análisis, diseño y simulación tiene precisamente como objetivo principal enfocarse en resolver el problema para establecer la factibilidad técnica económica al recuperar la inversión en un corto plazo y obtener ganancia financiera en un futuro.

La demanda de estos servicios en la actualidad es elevada, por lo que hay que tomar en consideración la aceptación de la población al realizar este tipo de inversiones para que este proyecto sea escalable a largo plazo, tomando esto como referencia se realizará una encuesta a la población para recabar información.

En la parroquia Checa la empresa Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT brinda este tipo de servicio a la población que se encuentra en la zona céntrica (CNT, Cobertura Fibra Óptica GPON Checa, 2021) limitando la cobertura a los usuarios finales, por

consiguiente, no se dispone de conexión con el flujo de información que se requiere actualmente.

La falta de cobertura que tiene la parroquia Checa en cuanto a redes FTTH GPON es porque se encuentra ubicada en una zona rural de la ciudad de Quito. Mediante el análisis, diseño y simulación se cubrirán estas áreas con una posibilidad de escalabilidad a nivel de red para su crecimiento futuro.

La pregunta principal que se plantea para el desarrollo del planteamiento del problema es:

¿Qué tan viable sería el Análisis, Diseño y Simulación de una red FTTH GPON para la Población de la Parroquia de Checa de la ciudad de Quito?

Y las siguientes preguntas secundarias son:

¿Qué especificaciones técnicas se requieren para el diseño de la Red GPON en la parroquia de Checa?

¿Cuál es la cobertura de la red GPON que se pretende alcanzar en la parroquia de Checa?

¿Qué acogida tendrá esta nueva tecnología en la parroquia de Checa?

## **1.4 OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Analizar, diseñar y simular una red FTTH GPON para la Población de la Parroquia Checa ciudad de Quito.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar la posible cobertura de la red FTTH GPON que se pretende alcanzar en la parroquia Checa de acuerdo a la cantidad aproximada de usuarios.
- Diseñar una propuesta para establecer cantidades y especificaciones técnicas de equipos necesarios para la red FTTH GPON de este proyecto.

- Simular la propuesta técnica para obtener datos del enlace de fibra óptica de la red FTTH GPON en la parroquia Checa.
- Analizar la propuesta técnica económica para determinar el tiempo en el cual se obtiene ganancias.

## 1.5 METODOLOGÍA

Inicialmente se realiza una investigación bibliográfica para describir las características de las redes GPON, posteriormente se investiga la cantidad de población con número de hogares de la Parroquia Checa para la obtener de la densidad poblacional por Km<sup>2</sup>,

Para saber que acogida tendrá el nuevo servicio de Internet se realizan encuestas a la población, utilizando el método estadístico simple.

A continuación, se describen las características de los equipos a utilizar, se realiza el diseño de la red FTTH GPON,

Se emplea un simulador que permita modelar este sistema y se realiza un análisis técnico económico.

En cuanto a la técnica:

- Se realizará una revisión de textos técnicos los cuales contienen temáticas de fibra óptica, redes GPON, métodos estadísticos, tipos de encuestas, simuladores para redes GPON, análisis técnico económico.

Se realizará un diseño con costos de los equipos a utilizar según el número de abonados obtenidos en la encuesta, determinando la cobertura a alcanzar en la parroquia Checa provincia Pichincha.

Se realiza una simulación del diseño obteniendo datos de BER en downstream y upstream para compararlos con la recomendación ITU-T G984 y certificar el funcionamiento de la red diseñada para la parroquia Checa provincia de Pichincha.

Se entrega un documento el cual contendrá todo material descrito en la metodología del presente trabajo de titulación.

## CAPITULO 2

### MARCO REFERENCIAL

#### 2.1 Conceptos Generales de Fibra óptica.

“La fibra óptica está compuesta de filamentos que pueden ser de vidrio o bien de plástico, con un espesor que va entre 10 micrones y 300 micrones que se asemeja a un cabello humano. La información que llevan dentro estas fibras son es forma de haces de luz” (Rodriguez, 2009, pág. 6).

“Su funcionamiento se basa en la transmisión de luz tomando el principio de reflexión total, esta luz recorre el núcleo de la fibra e incide sobre la superficie externa formando un ángulo mayor que el ángulo crítico, de tal forma que la luz se refleja sin pérdidas al interior de la fibra, tomando este concepto la luz puede recorrer grandes distancias reflejándose todo el trayecto, una manera de evitar pérdidas por dispersión de la luz ya sea por impurezas de la superficie en la fibra óptica o por agentes externos, el núcleo recibe un recubrimiento de vidrio con un índice de refracción menor” (Rodriguez, 2009, pág. 6).

Una de las principales características que se mantiene en la fibra óptica es que la señal no sufre mucha atenuación como en otros medios de transmisión como por ejemplo el cobre, ya que en este las señales tienden a ser atenuadas por la resistencia propia del material limitando a distancias cortas.

Otra característica que se tiene en la fibra óptica es que se puede enviar varias señales a distintas frecuencias para poder distinguirlas, posibilitando unir o multiplexor diferentes servicios (Rodriguez, 2009, pág. 6).

#### 2.2 Redes FTTx.

En la actualidad es imprescindible en el ámbito de las telecomunicaciones hablar de las redes Fiber to the x, por sus siglas en inglés FTTx, donde x define la aplicación de usuario final, estas redes facilitan utilizar el mismo enlace con varios clientes al mismo tiempo, si recurrir a elementos activos, entiéndase como elemento activo a un elemento que necesite

alimentación eléctrica para su funcionamiento, existen varios tipos de redes FTTx dependiendo la aplicación final, a continuación, se describe las tecnologías de FTTx.

(Marchukov, 2011, págs. 1, 2, 3)

- Tecnología FTTN: Es la fibra al nodo, que comprende el tramo de fibra que finaliza en un gabinete ubicado en la calle, a una distancia de 1,5 km a 3 km del abonado.
- Tecnología FTTC: Fibra óptica para exterior, para este caso el gabinete se encuentra ubicado lo más cerca al usuario con un trayecto de 300 m a 600m.
- Tecnología FTTB: El prestador del servicio llega directamente al gabinete de distribución del edificio, y desde ese punto se llega con cobre al usuario final.
- Tecnología FTTH: es la fibra que llega a la vivienda o al usuario final directamente, (Marchukov, 2011, págs. 1, 2, 3). Para este trabajo se toma como referencia esta tecnología

### **2.3 Comunicaciones por fibra óptica.**

Existen diferentes tipos de comunicaciones para elegir de acuerdo a la especificación de la aplicación a implementar entre las principales topologías se tiene a:

Red punto a punto en la que los dispositivos están conectados directamente por un medio físico como es la fibra óptica (COMMSCOPE, 2018).

Red punto multipunto en la que se ofrece varias rutas desde un mismo dispositivo como ejemplo en comunicaciones de fibra óptica se tiene un splitter el cual conecta una ruta a varios abonados finales, en esta comunicación se tiene varias arquitecturas las cuales se presentan a continuación (COMMSCOPE, 2018).

### **2.4 Estándar de las Redes PON.**

En los últimos años las redes de fibra óptica han venido transformando sus estándares para una mejora en sus servicios a continuación se describen los estándares de las redes PON haciendo una mención al estándar GPON que es con el que se desarrolla el presente estudio.

APON, trabaja con el estándar ITU-T G.983, con un enlace simétrico de 155 Mbps tanto en subida como en bajada, en algunas ocasiones puede trabajar con 155 Mbps en subida y 622 Mbps en bajada, esta trabaja WDM que es la multiplicación por división de longitud de onda (Pomboza, Samaniego, & Villacrés, 2019).

BPON, trabaja con el estándar ITU-T G.983, mejorando características de APON, esta contempla las especificaciones G.983.1 hasta la G.983.8, e incorpora una transmisión de brocadas para TV análoga (Pomboza, Samaniego, & Villacrés, 2019).

GPON, trabaja con el estándar G.984.1 a G984.4, permite transmisiones de tráfico ip y ATM mediante sus celdas de tamaño variable, valiéndose de una transmisión simétrica de 2.5 Gbps tanto de bajada como de subida. O un enlace asimétrico de 2.5 en bajada y 1.25 en subida, utiliza la multiplicación por división de tiempo TDM, además maneja una especificación G988, que controla la interfaz WDM-PON (Pomboza, Samaniego, & Villacrés, 2019).

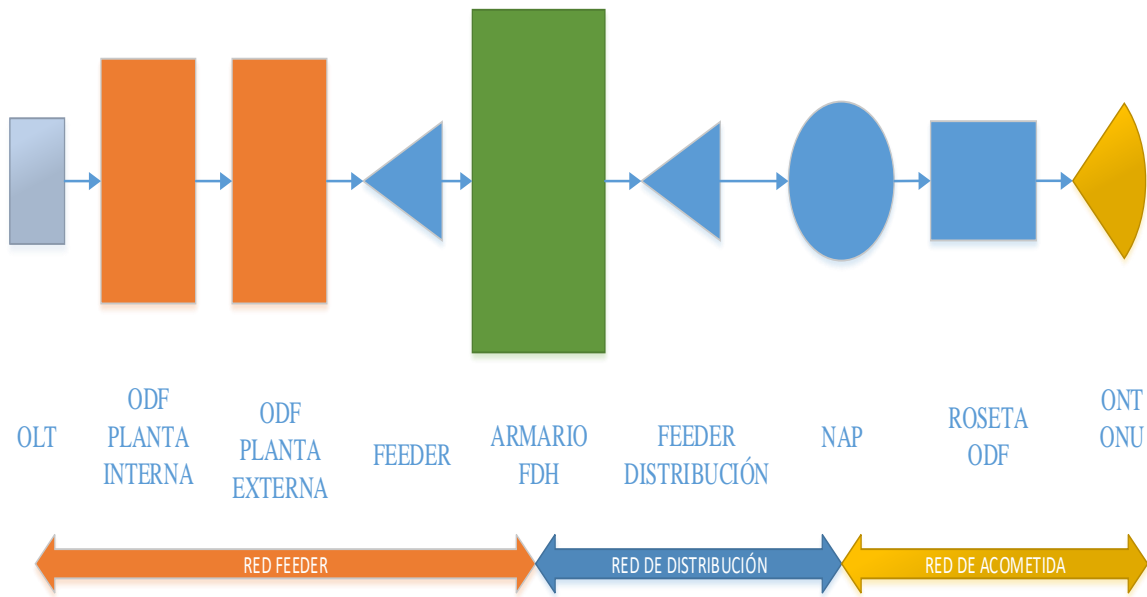
EPON, trabaja con la norma ethernet IEEE 802.3ah, mejora la seguridad y soporta una mejor velocidad en la transmisión de datos, su principal característica es que la interconexión entre nodos es mucho más sencilla que las tecnologías APON, BPON (Pomboza, Samaniego, & Villacrés, 2019).

## **2.5 Red de acceso.**

La red de acceso tiene varios equipos que son necesarios para poder establecer una comunican entre el ISP de servicios y el usuario final, existe un nodo central en el cual los proveedores realizan una interconexión con la llamada red de acceso a la cual se la conoce como la última milla (Marchukov, 2011).

Para describir este tipo de arquitectura se muestra la figura 1.1 la cual indica las características de la red FTTH GPON.

Figura 2.1 Arquitectura de red GPON, Diego Endara



### 2.5.1 Red Fedder

Es la que parte desde la central donde está ubicada la OLT, conecta todos los nodos, aquí se derivan todos los hilos de fibra óptica que atenderán a los sectores por donde pasa el despliegue, existes varios cables que se emplean por lo general la capacidad de estos cables pueden ser de 96, 144, 288 hilos de fibra óptica y estos pueden ser de tipo aéreos o canalizados, estos se utilizan para la conexión con el armario FDH (Alvarez, 2020).

La arquitectura de la red Gpon consta de un OLT (Optical Line Terminal), el cual se ubica en la dependencia del proveedor, este dispositivo se lo denomina activo ya que es energizado por una fuente de voltaje, una OLT tiene de varios puertos GPON, cada uno de estos puertos tiene la capacidad de hasta 64 ONU, o lo que es lo mismo a 64 usuarios finales, existen OLT modulares a los cuales se les puede extender tarjetas de ampliación dependiendo el caso y número de usuarios (Enfoque, 2016).

### **2.5.2 Red de distribución**

Es aquella que conecta el armario FDH con las cajas de distribución o NAP, en este caso se emplean cables de fibra óptica ya sean de tipo aéreo o canalizados de 12, 24, 48 o 96 hilos (Carrera, 2016).

OND (Optical Distribution Network), es el canal o medio de transmisión también conocido como feeder por el cual se lleva la información a los abonados desde la OLT sin superar los 20 Km de distancia incluyen algunos componentes óptico y no ópticos, entre los componentes ópticos que pertenecen a la red de distribución se incluyen fusiones, divisores, acopladores, conectores, patchcore de fibra óptica, entre los componentes no ópticos se tiene los anclajes, herrajes de tipo A los cuales se utilizan en zonas urbanas y tipo B que se utilizan en carretera los cuales ayudan a la sujeción de la fibra óptica en su despliegue, también se tiene armarios, pedestales, paneles de conexión, postes, entre otros (Alvarez, 2020).

### **2.5.3 Red de acometida**

Es aquella que conecta las NAP con las rosetas de los abonados finales, para estos casos se emplea cables de fibra óptica drop y estos pueden ser de tipo aéreo o canalizados generalmente vienen de dos hilos (Carrera, 2016).

En este tipo de red también se encuentran los denominados Splitter que son Divisores óptico, este elemento es de tipo pasivo y se encarga de direccionar la señal proveniente del OLT al usuario o abonado final (Marchukov, 2011).

En la tabla 1.1 se indica como al dividir la señal óptica con un splitter tiene pérdidas en el presupuesto óptico al final de su trayecto afectando al abonado si no se toma en consideración este caso.

Tabla 2.1

*Clasificación de Spitter óptico según su nivel.*

Nivel de Splitteo	Perdidas en dB
1:2	3,2
1:4	6,5
1:8	9,7
1:16	13
1:32	16,2
1:64	19,5

**Nota.** Fuente: (Alvarez, 2020)

La ONT (Optical Network Terminals) es la dependencia del abonado o usuario final, este dispositivo se lo denomina activo ya que es energizado por una fuente de voltaje. A estas también se las conoce como ONU (Optical Network Unit)

## **2.6 Norma ITU-T G.984 parámetros de diseño**

“La norma ITU-T G.984.x, donde (x= 1,2,3,4,5,6) es una recomendación que ayuda a tomar las bases para el diseño y certificación de redes GPON, también aporta un criterio extenso para la optimización de recursos como elementos pasivos” (Quisnancela & Espinosa, 2016).

En la tabla 2.2 se describe los parámetros relevantes a certificar en las redes FTTH GPON, con las recomendaciones ITU –T G.984.x.

Tablas 2.2

*Especificaciones de la norma ITU-T G.984.x*

ITU - T	Componentes	Definición de	Tipos de servicio.	
G.984.1	Generales	la arquitectura en el sistema OAM	Tasa física de transmisión y recepción.  Rendimiento del sistema.	
ITU - T	Medios	Sensibilidad	ONT	OLT
G.984.2		mínima	+ 5 dBm	+ 5 dBm
		Potencia	+0,5 dBm	+1,5 dBm
		óptica mínima	- 27 dBm	- 28 dBm
		Potencia	- 8 dBm	- 8 dBm
		óptica máxima		
		Potencia		
		óptica mínima de		
		Sobrecarga		
		Parámetros		
		Class B+		

**Nota.** Fuente: (Quisnancela & Espinosa, 2016).

Para el caso del diseño y simulación en este proyecto se toma en cuenta los parámetros de potencia atenuada y el BER.

La potencia atenuada es la suma de todas las pérdidas que sufre el enlace a lo largo del trayecto de la fibra óptica, en este punto se tienen pérdidas por fusión, pérdidas propias de la fibra óptica, pérdidas por acoples o conectores, pérdidas en el splitter óptico, la suma de todas estas pérdidas se las conoce como potencia atenuada en el enlace, en la norma ITU-T G984.2 se indican los valores máximos que se pueden llegar a tener.

---

El BER o Bit Error Rate por sus siglas abreviadas en inglés, o en español Tasa de Error de Bits, es la cantidad de bits recibidos con errores dividida por la cantidad total de bits recibidos, normalmente se lo representa en notación científica como 10 elevado a una potencia negativa (Montoya, Herrera, & Barrera, 2017).

Existen factores que afectan los valores de BER como la relación señal a ruido (S/N) en el trayecto de la comunicación, el BER es un parámetro importante usado comúnmente en las telecomunicaciones ya que se tienen sistemas que transmiten de un lugar a otro la información, o datos (Montoya, Herrera, & Barrera, 2017).

Para sistemas de transmisión digital un BER aceptable debe ser menor a  $10e-10$ , esto significa que se tiene 1 error por cada diez mil millones de datos enviados (Montoya, Herrera, & Barrera, 2017).

## **2.7 Tipos de Encuestas.**

“Dentro de la producción de estadísticas, las encuestas juegan un papel importante para la investigación. En este sentido, la palabra se utiliza para designar los métodos para captar información acerca de un cierto grupo o población de objetos. Estas encuestas son mediciones en un momento determinado, por lo que no puede establecerse que sus resultados sean indicadores precisos de lo que ocurrirá meses después” (Lastra, 2000, pág. 263).

Existen varios tipos de encuestas que se realizan en la actualidad (Benavides, 2010)

- “La encuesta personal es aquella que la información se obtiene mediante un encuentro directo y personal entre el entrevistador y el entrevistado
- La encuesta telefónica es un método cuya utilización va en aumento en los últimos años a medida que se incrementa el número de hogares con teléfono y mejora, por tanto, su representatividad. Consiste en la obtención de la información mediante una conversación telefónica entre el entrevistador y la persona seleccionada

- La encuesta postal Encuesta es la que se emplea el servicio postal como medio para el envío y recepción de información a través de un cuestionario
- La encuesta por Internet consiste en colocar un cuestionario en una página web o en enviarlo a los correos electrónicos de un panel predefinido” (Benavides, 2010).

## 2.8 Muestreo Aleatorio Simple.

El muestreo aleatorio simple se usa comúnmente para obtener una estimación de datos de cierta población, se parte de una muestra aleatoria simple de tamaño  $n$  posteriormente se valora o se estima el error, se podrá plantear que tamaño de muestra es óptimo para realizar una estimación del parámetro con un error de estimación máximo  $e$ . Fijando el error  $e$ , el tamaño de la muestra para estimar el total de la clase es ecuación 1 (Lastra, 2000).

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

“Dónde:

$n$  = El tamaño de la muestra.

$N$  = El tamaño del Universo.

$\sigma$  = Desviación estándar de la población.

$Z$  = Valor obtenido mediante niveles de confianza.

$e$  = Límite aceptable de error muestral.” (Lastra, 2000).

## 2.9 Densidad Poblacional.

Para poder determinar un análisis de aceptación de una tecnología en determinado lugar de habitantes es necesario recurrir al termino densidad poblacional el cual hace referencia a cuanta población se dispone en un área determinada, matemáticamente se la podría expresar con la relación del número de habitantes que ocupa dicho sector para el área de la extensión en kilometros cuadrados (Bastidas & Medina, 2010).

Para estimar la densidad poblacional en un sector se considera la formula estándar, es decir, la división del total de la población para el total del territorio a estudiar. (Bastidas & Medina, 2010)

$$D = \frac{P}{T} \text{ Ecu (2)}$$

Donde:

D= Densidad Poblacional

P= Población Total

T= Territorio (Bastidas & Medina, 2010)

## **2.10 Simulador OptiSystem.**

Para poder simular el diseño que se plantea y verificar la continuidad y los niveles de atenuación en los diferentes elementos de red se plantea el software Optysystem ya que cuenta con las características necesarias para lograr el objetivo propuesto, también cuenta con una versión de prueba de treinta días con todas las características de su versión de pago a diferencia de otros simuladores, a continuación, se presentan algunas características en las aplicaciones que el software puede simular (Optiwave, 2021)

- “Diseños de redes ópticas que incluyen OTDM, anillos SONET / SDH, CWDM, DWDM, PON, Cable, OCDMA.
- Transmisión monomodo / multimodo.
- Óptica de espacio libre (FSO), Radio sobre fibra (ROF), OFDM (directo, coherente).
- Amplificadores y láseres (EDFA, SOA, Rama, híbrido, optimización GFF, láseres de fibra).
- Procesamiento de señales (eléctrico, digital, totalmente óptico).
- Diseño de subsistema de transmisor y receptor (directo / coherente).

- Formatos de modulación (RZ, NRZ, CSRZ, DB, DPSK, QPSK, DP-QPSK, PM-QPSK, QAM-16, QAM-64)
- Análisis del rendimiento del sistema (diagrama de ojo / factor Q / BER, potencia de señal / OSNR, estados de polarización, diagramas de constelación, penalizaciones lineales y no lineales)
- Su licencia es de pago, pero cuenta con una licencia gratis por 1 mes” (Optiwave, 2021).

### **2.11 VPI Transmisión Maker.**

A continuación, se presenta algunas características del software VPI Transmisión Maker en sistemas fotónicos pasivos.

- Permite la simulación de redes ópticas como las de tecnología PON.
- Modelos analíticos precisos para dispositivos fotónicos pasivos estándar: guías de ondas rectas y dobladas, unión y cruce de guías de ondas reflectantes, rama Y, acoplador X, MMI, acoplador en estrella, resonador de anillo y acoplador de anillo, rejilla de Bragg de guía de onda que admite apodización arbitraria definida por el usuario y chirrido, así como perfiles de rejilla muestreados y no recíprocos (VPIPhotonics, 2021).
- Los índices de modo efectivo arbitrarios dependientes de la frecuencia y las atenuaciones se pueden especificar de forma independiente para los modos de tipo TE y TM en todos los modelos de dispositivos analíticos (VPIPhotonics, 2021).
- Posee utilidades como la opción de simulación de multiplicación en WDM, con la posibilidad de obtener diagramas de BER, diagramas de ojo, diagramas espectrales, etc. (VPIPhotonics, 2021).

- Componentes ópticos de polarización y pasivos de uso general, filtros ópticos analíticos y medidos, filtros ópticos físicos especializados, MUX / DEMUX (VPIPhotonics, 2021).
- Su licencia es de pago y es compleja de obtenerla, ya que se realiza una suscripción en la página web de VPI Photonics, y evalúan el tipo de cliente, esta orientada al segmento empresarial de desarrollo, para su versión gratuita es el mismo proceso.

## **CAPITULO 3**

### **3.1 Análisis de cobertura de la red FTTH GPON en la parroquia Checa**

#### **3.1.1 Tamaño de la población y cálculo de la muestra.**

El Ecuador en la actualidad tiene este tipo de tecnología con un despliegue de fibra óptica a cierre del 2018 del 27.62% a nivel nacional, cabe notar que entre el 2012 y 2018 el número de conexiones de última milla a través de medios ópticos se multiplico 10 veces siendo este tipo de conexiones la mayor tasa de crecimiento que se registran al momento. (Zapata Rivera, Iglesias Rodríguez , & García Zaballos , 2020), teniendo como participación de mercado a las empresas CNT con un 48.90%, NetLife con un 14.18%, TVCABLE con un 11.65%, Claro con un 9.22%, Puntonet con un 4.24%, Etapa con un 3.33% y resto de prestadores un 8.50% (ARCOTEL, 2018).

La provincia de Pichincha es una de las poblaciones que con un 31.09 % a cierre del 2018 registra el mayor número de conexiones de Internet fijo registradas en el Ecuador (ARCOTEL, 2018). Sin embargo, en la actualidad se puede evidenciar que no se cubre la cobertura en su totalidad dejando a la población en especial a las zonas rurales sin acceso a este medio que hoy en día tiene un impacto relevante en las comunicaciones a nivel humanidad.

La parroquia de Checa es una población rural de la ciudad de Quito provincia de Pichincha, la cual requiere este tipo de servicio, actualmente la empresa CNT brinda cobertura por la tecnología ADSL banda ancha a través del par telefónico de cobre tradicional, limitando el ancho de banda a usuarios finales.

Se realiza una encuesta a la población de Checa provincia de Pichincha en la cual se toma como muestra de población el número total de hogares según los datos del INEC en su documento Promedio de Personas por Hogar (INEC I. N., Promedio de personas por hogar, 2010), datos que coinciden con la información del GAD parroquial Checa (GAD, 2021).

Con esta información que brinda el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos la cual coincide con los datos del GAD parroquial de Checa aplicamos la ecuación 1 descrita en el marco teórico para obtener el número de encuestas a realizar en la parroquia de Checa.

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5^2 * 2331}{0.05^2(2331 - 1) + 1.96^2 * 0.5^2} = 330 \text{ encuestas}$$

El número total de encuestas que se realiza en la parroquia de Checa es de 330 de acuerdo a la ecuación 1 planteada en el marco teórico de este documento.

Para el cálculo de la densidad poblacional en el sector de Checa se emplea la ecuación 2, descrita en el marco teórico, con la cual se obtiene la concentración existente en el sector de Checa posibilitando la ruta de despliegue de fibra óptica en el sector.

$$D = \frac{8980}{89,56 \text{ KM}^2} = 100,27$$

El resultado obtenido dice que en la parroquia de Checa provincia de Pichincha hay 100,27 habitantes por Km<sup>2</sup> relacionando con otras parroquias este resultado se puede determinar que el área a ser estudiada es densamente poblada posibilitando continuar con el estudio.

Según datos del INEC la parroquia Checa provincia de Pichincha se encuentra en el puesto 13 de las 33 parroquias rurales más densamente pobladas teniendo a la parroquia rural de Lloa como la primera más densamente poblada (INEC, 2010).

### **3.1.2 Encuesta a realizar.**

En la presente sección se toma como referencia la encuesta personal descrita en el capítulo 1 y se formula las preguntas que se realizan a la población de la parroquia de Checa para obtener datos sobre aspectos como el proveedor, la calidad de servicio, el costo y si estarían dispuestos a cambiarse a otro proveedor de servicios de internet por fibra óptica.

Saludos estimados encuestados

Somos una empresa de telecomunicaciones proveedora de servicios de Internet por fibra óptica para hogares, en esta oportunidad se desea saber si cuentan con este tipo de servicio y el grado de interés que tienen en contratar un nuevo servicio de Internet.

La encuesta tiene un tiempo de máximo 2 minutos, por lo cual agradecemos su tiempo.

Preguntas:

1. Actualmente usted cuenta con servicio de Internet.

SI                      NO

2. En caso de contar con Internet, cuál es su proveedor de servicios, si no cuenta con internet vaya a la pregunta 4.

3. En caso de contar con Internet, cuál es su tipo de conexión, si no cuenta con internet vaya a la pregunta 4.

Cobre                                      Fibra Óptica                                      Satelital

4. Estaría dispuesto a contratar un nuevo servicio de Internet el cual le permita tener una mejor cobertura inalámbrica y velocidad en su domicilio.

SI                      NO

5. Qué plan estaría dispuesto a contratar en este nuevo servicio de Internet.

Básico                                      Intermedio                                      Plus

Básico: 20 Megas por 30 dólares

Intermedio: 40 Megas por 40 dólares

Plus: 70 Megas por 70 dólares

6.Cuál es la causa para contratar otro plan de servicios de Internet.

Lentitud                      mala señal inalámbrica                      costos                      no dispone de Internet

### 3.1.3 Análisis de resultados para determinar la cobertura.

En la tabla 3.1 se muestra la pregunta con el número de respuestas obtenidas en la encuesta.

Tablas 3.1

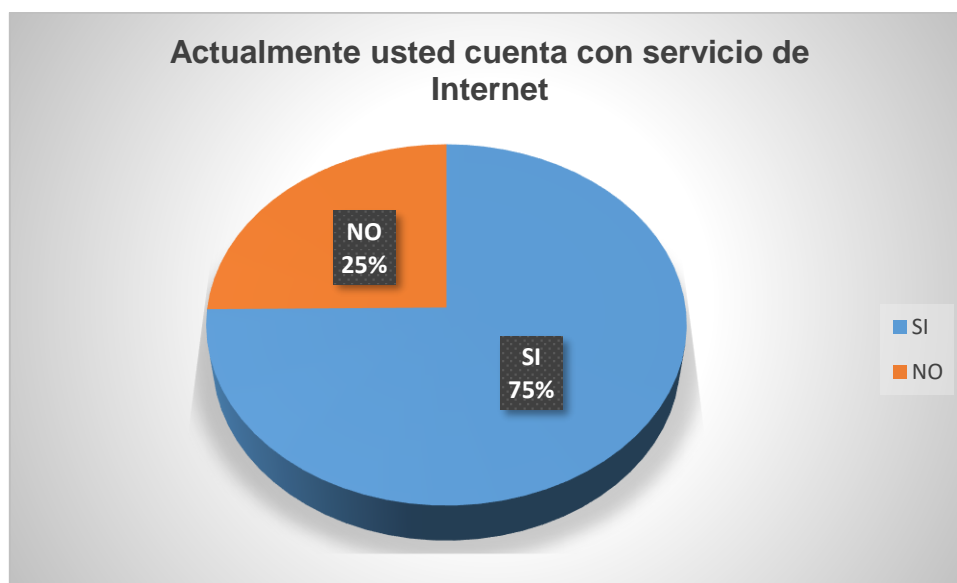
*Valores tabulados en la parroquia de Checa*

Pregunta # de encuestas 330	Opciones	Respuesta
Actualmente usted cuenta con servicio de Internet	SI	247
	NO	83
	CNT	127
Cuál es su proveedor de servicios	SAITEL	64
	FASNETT	56
	COBRE	84
	FIBRA	
Cuál es su tipo de conexión	ÓPTICA	163
	SATELITAL	0
Estaría dispuesto a contratar un nuevo servicio de Internet	SI	273
	NO	57
	BÁSICO	192
Qué plan estaría dispuesto a contratar	INTERMEDIO	56
	PLUS	25
	LENTITUD	83
	MALA	
Cuál es la causa para contratar otro plan	SEÑAL	118
	INALAMBRICA	
	COSTOS	15

**Nota.** Fuente: Diego Endara

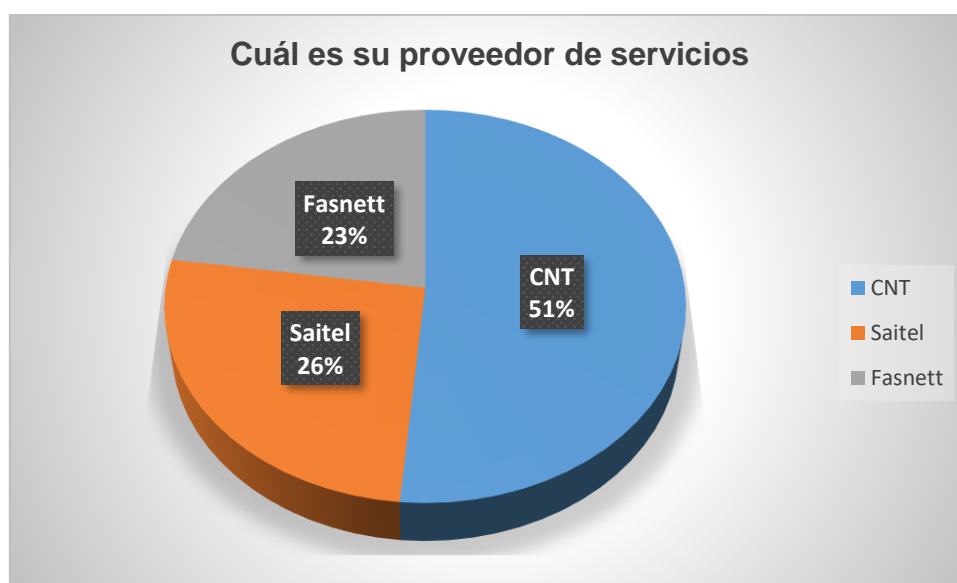
En la figura 3.1 se muestra el porcentaje de los resultados de la pregunta 1 tabulados de la encuesta realizada en la parroquia de Checa.

Figura 3.1 Resultados de tabulación pregunta 1, Diego Endara



En la figura 3.2 se muestra el porcentaje de los resultados de la pregunta 2 tabulados de la encuesta realizada en la parroquia de Checa.

Figura 3.2: Resultados de tabulación pregunta 2, Diego Endara



En la figura 3.3 se muestra el porcentaje de los resultados de la pregunta 3 tabulados de la encuesta realizada en la parroquia de Checa.

Figura 3.3 Resultados de tabulación pregunta 3, Diego Endara



En la figura 3.4 se muestra el porcentaje de los resultados de la pregunta 4 tabulados de la encuesta realizada en la parroquia de Checa.

Figura 3.4 Resultados de tabulación pregunta 4, Diego Endara



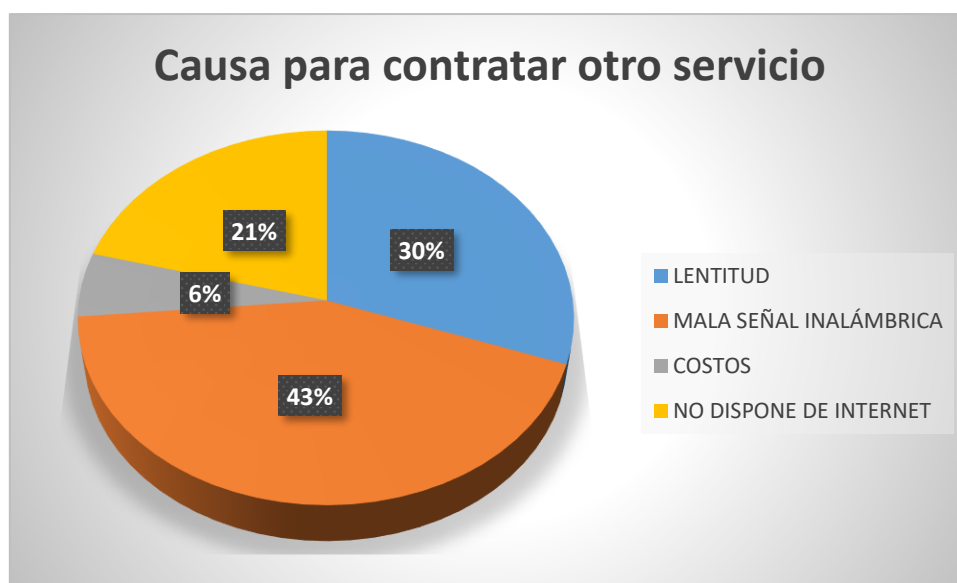
En la figura 3.5 se muestra el porcentaje de los resultados de la pregunta 5 tabulados de la encuesta realizada en la parroquia de Checa.

Figura 3.5 Resultados de tabulación pregunta 5, Diego Endara



En la figura 3.6 se muestra el porcentaje de los resultados de la pregunta 6 tabulados de la encuesta realizada en la parroquia de Checa.

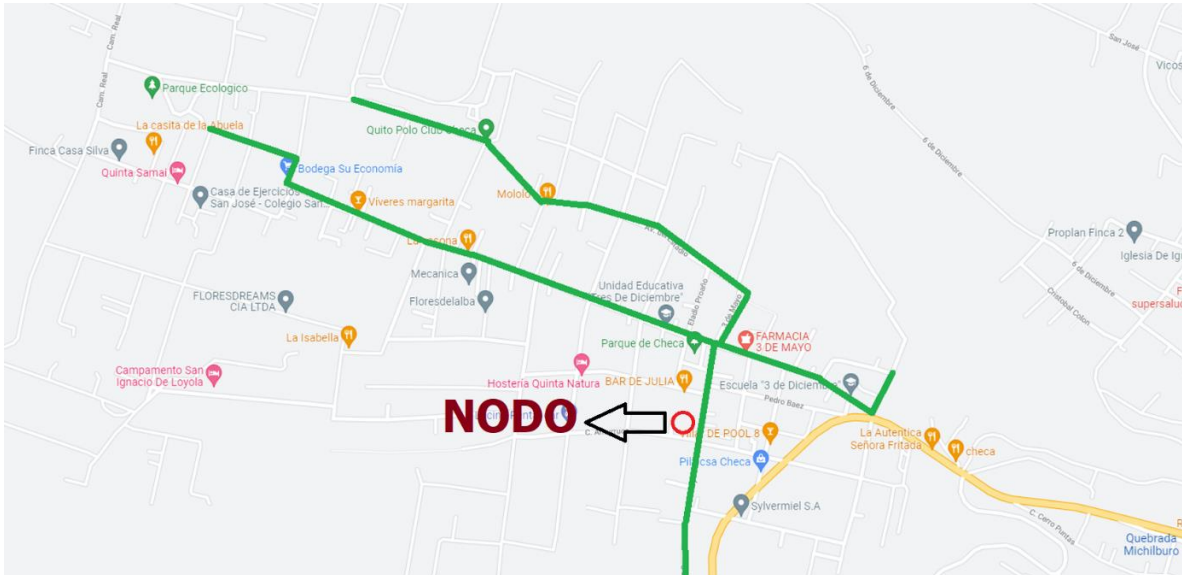
Figura 3.6 Resultados de tabulación pregunta 6, Diego Endara



En la figura 3.7 se indica la ruta en la cual se realizó las encuestas de acuerdo a la densidad poblacional en la parroquia de Checa descrito en el marco teórico, esta indicaría el despliegue de fibra óptica en una futura implementación del presente análisis.

En la figura 3.7 cabe señalar la ubicación del nodo principal donde la ruta señalada no excede los 20 Km que recomienda la norma

Figura 3.7 Ruta de encuestas, Diego Endara



La Ruta donde se realizó las encuestas fue de acuerdo al cálculo de la densidad poblacional en la parroquia de Checa.

De acuerdo a las encuestas realizadas a los habitantes de la parroquia de Checa partiendo del análisis de la densidad poblacional área utilizada por Km<sup>2</sup>, se tendría 273 posibles clientes, para el diseño de esta red FTTH GPON se toma como referencia esta cantidad de abonados.

### **3.2 Diseño de una propuesta técnica para establecer cantidades, especificaciones técnicas de materiales y equipos necesarios para la red FTTH GPON de este proyecto.**

#### **3.2.1 Perspectiva del diseño de la red GPON FTTH en la parroquia de Checa.**

En el diseño que se plantea en esta sección se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se parte de un mapa georreferenciado de la parroquia de Checa donde se ubica los postes que se utilizan para el recorrido de fibra óptica.

- En la red feeder se utiliza un cable de 24 hilos el cual cumple con la norma ITU-G652D.
- En la última milla se considera un cable droop de 2 hilos el cual debe cumplir con la norma ITU-T G.657.A1 o G.567.A2.
- Se utilizan Naps de 1:32 para la distribución.
- En el diseño del cálculo de presupuesto óptico se apega la norma ITU-T G984 como referencia para valores máximos y mínimos.
- Para el despliegue de fibra óptica aérea en postes se toma como referencia a la norma UIT-T L35 y la ITU L.26.

En la tabla 3.2 se indica el tipo de fibra y el uso de la misma en el despliegue.

Tablas 3.2

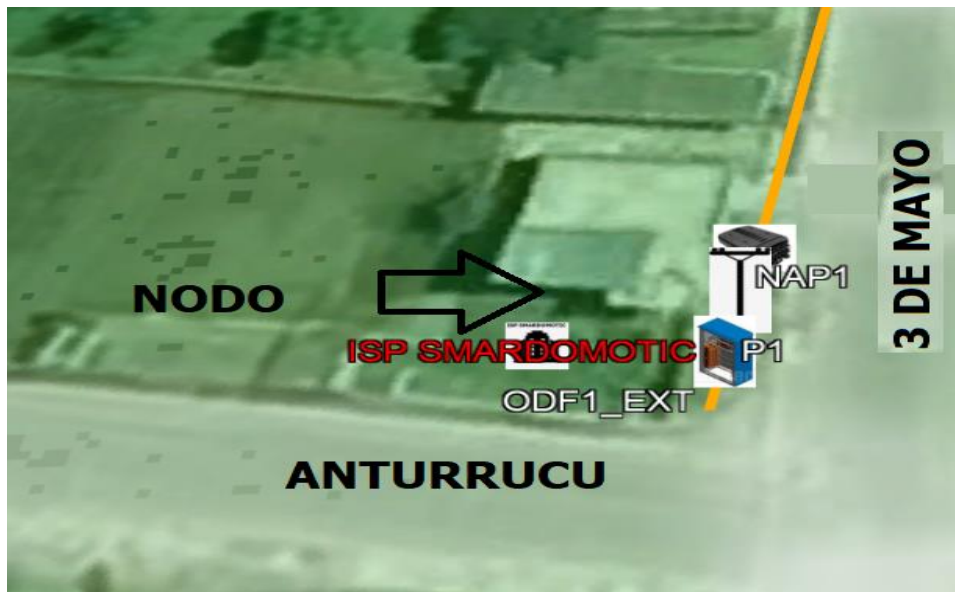
*Fibra a utilizar en el despliegue*

Fibra	Uso	Numero de hilos
G.652D ADSS	Feeder	24
G.652D ADSS	Distribución	24
G.657.A1	Última milla	2

**Nota.** Fuente: Diego Endara

El diseño de red consta de elementos activos y pasivos, para lo cual en el caso de los elementos activos se requiere de energía eléctrica para el funcionamiento, en los cuales se administra toda la infraestructura de red, en la figura 3.8 se indica la ubicación donde estaría ubicado el nodo principal, su dirección es en la parroquia de Checa calles, 3 de Mayo y Anturucu S2-77.

Figura 3.8 Ubicación del nodo principal, Diego Endara



Después de ubicar el nodo principal de donde se administra la infraestructura de la red, se determina los tramos por donde pasara la fibra óptica para lo cual se verifica previamente la existencia de postes en el sector, en este punto ya se define la red Feeder la cual va desde el rack interno hasta el rack externo ubicado en la calle 3 de Mayo y Anturucu.

A continuación, se define el número de usuarios en el sector para lo cual se toma como referencia la densidad poblacional en la parroquia de Checa calculada en el punto 3.1.1 y se realiza 330 encuestas las cuales fueron obtenidas de la ecuación 1 muestreo aleatorio simple descrita en el marco teórico, estas encuestas se realizaron puerta a puerta en los puntos con mayor número de casas en la parroquia de Checa, obteniendo los valores de la tabla 3.1, en la cual se toma como referencia para determinar el número de usuarios la pregunta 4 que dice, estaría dispuesto a contratar un nuevo servicio de Internet, en la tabla 3.3 se indica en número de usuarios finales que se emplea para el diseño de la red Gpon en la parroquia de Checa.

### Tablas 3.3

#### *Usuarios finales, información levantada en el sitio*

Datos recolectados	Número
Casas encuestadas	330
Pregunta 4: Estaría dispuesto a contratar un nuevo servicio de Internet	273
Porcentaje de usuarios del total de casas encuestadas	82.72%

**Nota.** Fuente: Diego Endara

#### **3.2.2 Diseño para el despliegue de fibra óptica.**

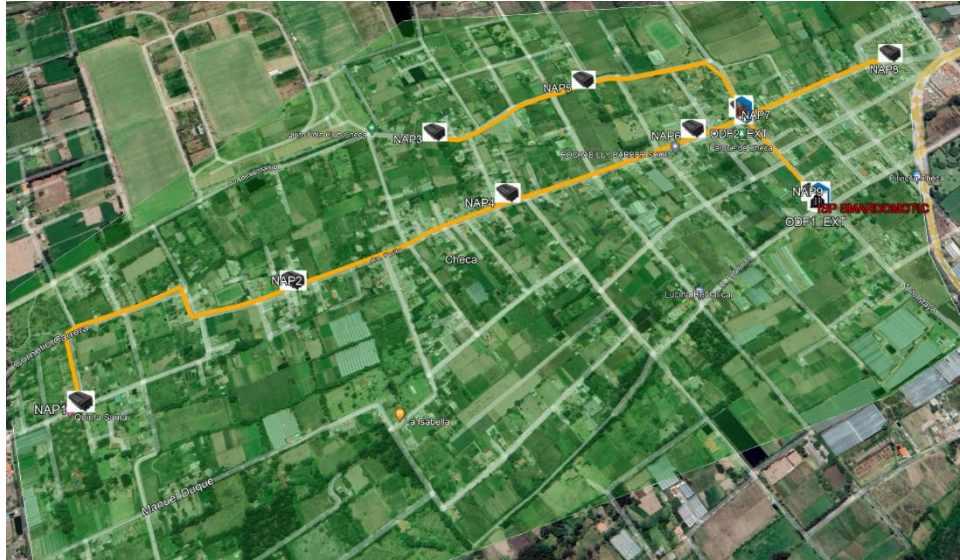
Para el diseño de despliegue se considera la ruta que se tomó para realizar las encuestas, en este diseño se considera 1 nivel de spliteo de 1:32 con una fibra de 24 hilos en el caso de la red troncal o feeder, y fibra droop de 2 hilos para última milla.

Para la red feeder se utiliza un cable de fibra G652D de 24 hilos canalizado de los cuales se utilizarán 9 hilos principales y 9 hilos de reserva que llegarán al ODF de planta externa ubicado en la calle, utilizando el 75 % del cable dejando como escalabilidad de la red un 25 %, al incrementarse usuarios, la distancia total desde el ODF interno hasta el ODF externo es de 100 m.

Para la red de distribución se utilizará un cable de fibra G652D de 24 hilos aéreo de los cuales 9 hilos se fusionarán a las 9 Naps contempladas en el diseño distribuidas en las zonas céntricas para alcanzar 32 usuarios con cada una, se emplean 9 hilos de reserva, utilizando el 75 % de capacidad del cable dejando con un 25 % de escalabilidad en la red de distribución, cabe mencionar que se deja cada 500 metros una reserva de 30 metros, la distancia total de la red de distribución es de 3.752 Km,.

En la figura 3.9 se puede observar la ruta de despliegue de la fibra óptica para la red de distribución, en la cual se consideran las 9 Naps para alcanzar un número de 288 abonados cumpliendo la demanda de clientes obtenidos en las encuestas realizadas puerta a puerta en el sitio.

Figura 3.9 Despliegue de la red de distribución, Diego Endara



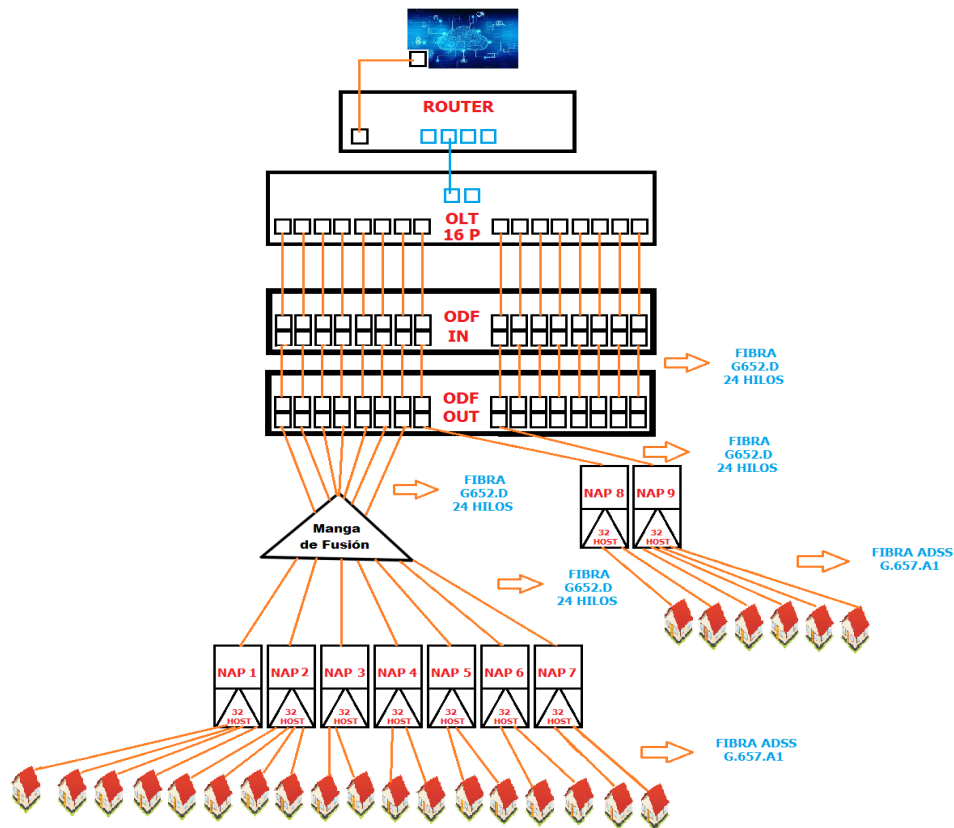
Para la red de dispersión o última milla se utiliza un cable droop G.657.A1 de dos hilos tomando en cuenta una distancia máxima al abonado más alejado de 300 m, la cual llegara hasta una roseta óptica en la cual se fusionarán 2 hilos dejando 1 como reserva, la conexión con la ONU se la realizara con un patch cord de fibra óptica con conector tipo SC.

### 3.2.3 Diseño de la topología de red

En este diseño de red se ha considerado por el número de usuarios una OLT de 16 puertos ópticos con un primer nivel de spliteo a los cuales se conectan a las 9 Naps de 1:32 posibilitando cubrir 288 usuarios.

En la figura 3.10 se muestra el diseño de red FttH Gpon en la cual se observa los elementos activos y pasivos de la red empleado para la parroquia de Checa.

Figura 3.10 Diseño de red Ftth Gpon para la parroquia de Checa



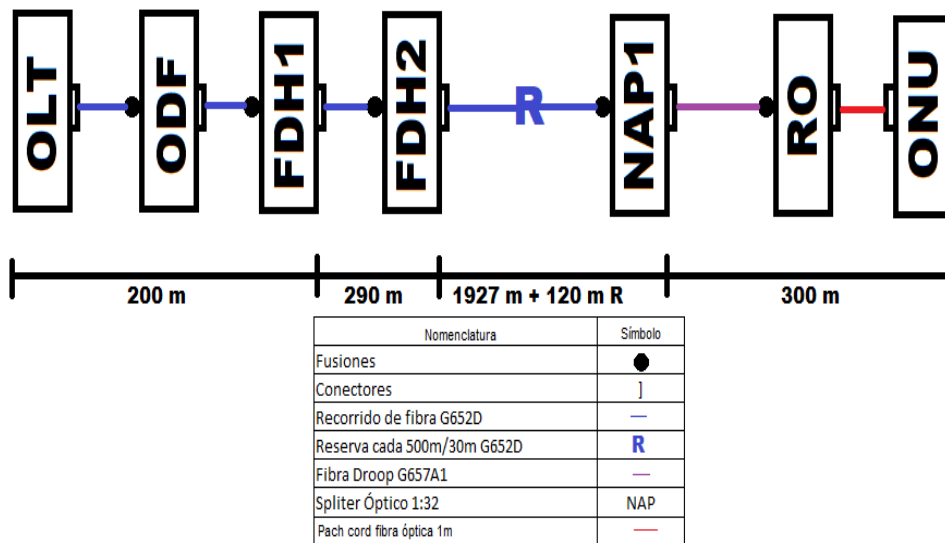
### 3.2.4 Calculo de presupuesto óptico.

Es necesario realizar el cálculo del presupuesto óptico para el diseño de red ya que se contemplan las atenuaciones mínimas y máximas en el trayecto de despliegue propuesto apegándose al cumplimiento de las normativas ITU-T G984 descritas en el marco teórico.

Para este propósito se toma dos escenarios de cálculos el primero describe el usuario más lejano tomando en cuenta a la NAP1 como se indica en la figura 3.9 más los 300 metros de fibra droop este usuario se encontraría a 2.837 Km de distancia desde el nodo principal, en el caso del usuario más cercano se toma en consideración la NAP9 y se encontraría a una distancia de 530 m.

En la figura 3.11 se muestra la distancia que existe entre la OLT y la ONU del usuario lejano tomando en cuenta todos los tramos incluidas las reservas que se tienen en el despliegue.

Figura 3.11 Distancia al usuario lejano, Diego Endara



Partiendo de los valores de distancia, usuario lejano de la figura 3.11 se realiza el cálculo de presupuesto óptico en la longitud de onda de 1310 nm para el enlace upstream, como se indica en la tabla 3.4.

Tablas 3.4

*Cálculo de presupuesto óptico upstream usuario lejano*

UPSTREAM 1310 nm	Cantidad	Perdidas dB	Pérdida Total dB
Fusiones	5	0,1	0,5
Conectores	7	0,5	3,5
Recorrido de fibra G652D	2,417 Km	0,35	0,84595
Reserva cada 500m/30m G652D	0,12 Km	0,35	0,042
Fibra Droop G657A1	0,3 Km	0,35	0,105
Spliter Óptico 1:32	1	16	16
Total dB			20,99295

**Nota.** Fuente: Diego Endara

Para el enlace upstream usuario lejano en la longitud de onda 1310 nm se obtiene un valor de 20.99295 db de pérdida en el despliegue.

Con los valores de distancia, usuario lejano de la figura 3.11 se realiza el cálculo de presupuesto óptico en la longitud de onda de 1490 nm para el enlace downstream, como se indica en la tabla 3.5.

Tablas 3.5

*Calculo de presupuesto óptico downstream usuario lejano*

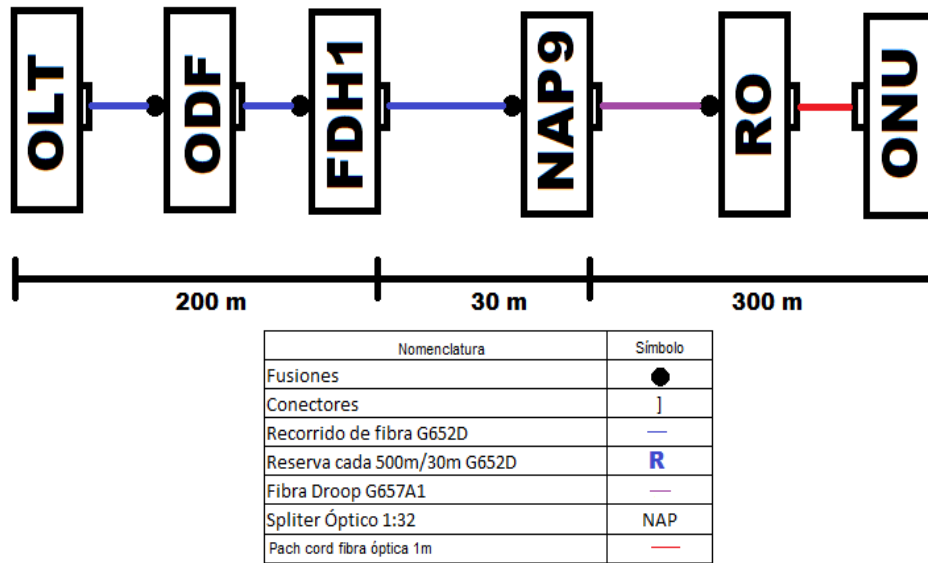
DOWNSTREAM 1490	Cantidad	Perdidas dB	Pérdida Total dB
Fusiones	5	0,1	0,5
Conectores	7	0,5	3,5
Recorrido de fibra G652D	2,417 Km	0,3	0,7251
Reserva cada 500m/30m G652D	0,12 Km	0,3	0,036
Fibra Droop G657A1	0,3 Km	0,3	0,09
Splitter Óptico 1:32	1	16	16
Total dB			20,8511

**Nota.** Fuente: Diego Endara

Para el enlace downstream usuario lejano en la longitud de onda 1490 nm se obtiene un valor de 20.8511 db de perdida en el despliegue.

En la figura 3.12 se muestra la distancia que existe entre la OLT y la ONU del usuario cercano tomando en cuenta todos los tramos incluidas las reservas que se tienen en el despliegue.

Figura 3.12 Distancia al usuario cercano, Diego Endara



Partiendo de los valores de distancia, usuario cercano de la figura 3.12 se realiza el cálculo de presupuesto óptico en la longitud de onda de 1310 nm para el enlace upstream, como se indica en la tabla 3.6.

Tablas 3.6

*Calculo de presupuesto óptico upstream usuario cercano*

UPSTREAM 1310 nm	Cantidad	Perdidas dB	Pérdida Total dB
Fusiones	4	0,1	0,4
Conectores	6	0,5	3
Recorrido de fibra G652D	0,03 Km	0,35	0,0105
Reserva cada 500m/30m G652D	0 Km	0,35	0
Fibra Droop G657A1	0,3 Km	0,35	0,105
Splitter Óptico 1:32	1	16	16
Total dB			19,5155

**Nota.** Fuente: Diego Endara

Para el enlace upstream usuario cercano en la longitud de onda 1310 nm se obtiene un valor de 19.5155 db de perdida en el despliegue.

Con los valores de distancia, usuario cercano de la figura 3.12 se realiza el cálculo de presupuesto óptico en la longitud de onda de 1490 nm para el enlace downstream, como se indica en la tabla 3.7.

Tablas 3.7

*Calculo de presupuesto óptico downstream usuario cercano*

UPSTREAM 1490	Cantidad	Perdidas dB	Pérdida Total dB
Fusiones	4	0,1	0,4
Conectores	6	0,5	3
Recorrido de fibra G652D	0,03 Km	0,3	0,009
Reserva cada 500m/30m G652D	0 Km	0,3	0
Fibra Droop G657A1	0,3 Km	0,3	0,09
Splitter Óptico 1:32	1	16	16
Total dB			19,499

**Nota.** Fuente: Diego Endara

Para el enlace downstream usuario cercano en la longitud de onda 1490 nm se obtiene un valor de 19.499 db de perdida en el despliegue.

Tomando como referencia la norma ITU-T G.984.2 que dice que un enlace óptico no puede sobrepasar los 28 dB de perdida en el trayecto de despliegue, en los cálculos realizados para el presente proyecto no se sobrepasa los 21 dB como se indica en la tabla 3.8 cumpliendo los requerimientos establecidos por los estándares.

Tablas 3.8

*Pérdidas totales en el despliegue de fibra óptica*

Enlace	Perdidas en db
Upstream 1310 nm usuario lejano	20,99295
Downstream 1490 nm usuario lejano	20,8511
Upstream 1310 nm usuario cercano	19,5155
Downstream 1490 nm usuario cercano	19,499

**Nota.** Fuente: Diego Endara

**3.2.5 Cálculo de presupuesto óptico.**

En la tabla 3. 9 se indica el cálculo de ancho de banda presupuestado para cada usuario con un nivel de spliteo 1:32 en el puerto PON de la OLT, en este punto hay que tomar en cuenta que la compartición que se ofrece es de 4 a 1 por cada usuario, dejando la posibilidad de crecimiento de usuarios en el ISP.

Tablas 3.9

*Ancho de banda por puerto PON*

Enlace	Velocidad soportada	Splitter 1:32 velocidad a cada usuario final.
Downstream	2.4 Gbps	75 Mbps
Upstream	2.4 Gbps	75 Mbps

**Nota.** Fuente: Diego Endara

Para poder determinar el ancho estimado por el ISP, se toma como referencia la tabla 3.1 el ítem que dice, qué plan estaría dispuesto a contratar, mismo que se obtiene a partir de una encuesta in situ, en la tabla 3.10 se indica el cálculo de ancho de banda tomando como referencia los planes ofertados por el ISP.

Tablas 3.10

*Presupuesto de ancho de banda para ISP*

Plan	Mbps	Usuarios finales	Mbps total
Básico	20	192	3840
Intermedio	40	56	2240
Plus	75	25	1875
Total			7955
Total compartición 4:1			1988.75

**Nota.** Fuente: Diego Endara

Una vez diseñada la propuesta se establece las cantidades y especificaciones técnicas a partir de los cálculos realizados en el punto 3.2 del presente documento, en la tabla 3.11 se describe las cantidades de los materiales a utilizar de acuerdo a las especificaciones de los cálculos obtenidos.

Según el diseño realizado se utilizan 84 postes para el trayecto de fibra a desplegar se toma como referencia que cada poste lleva 1 etiqueta, 1 herraje tipo A el cual consta de 2 hebillas y 2 preformados, las etiquetas van en cada poste y constan de 2 amarras.

Tablas 3.11

*Materiales a utilizar*

#	COMPONENTE	Unidad de medida	Cantidad
1	Router Mikrotic	U	1
	OLT Huawei		
2	MA5608T	U	1
3	ODF IN	U	1
4	ODF OUT	U	1
5	Manga de Fusión	U	1
6	NAP 1:32	U	9
7	Roseta Optica	U	273
	ONU Huawei		
8	hg8546m	U	273
	Patch core fibra		
9	OLT	U	17
	Patch core fibra		
10	ONU	1m/U	273
	Fibra G652D 24		
11	hilos	Km	4
	Fibra ADSS		
12	G657A1	Km	20
13	Herraje tipo A	U	84
14	Hebillas	m	168
15	Preformado	U	168
16	Amarras	U	168

---

**Nota.** Fuente: Diego Endara

### 3.3 Simulación de la propuesta técnica, para la red GPON diseñada.

Para este caso se tiene en consideración dos tipos de software los cuales se describen en el punto 2.10 y 2.11 del capítulo 2 en el presente documento, a continuación, en la tabla 3.12 se presenta un análisis comparativo para la elección adecuada del software empleado en la simulación del diseño del proyecto.

Tablas 3.12

Comparación de software.

Aplicación	Licencia	Simulación de redes ópticas	Diagramas (BER, OJO, Q Factor)	Requerimientos en hardware
VPI	De paga con evaluación gratuita previa aprobación de VPI Photonics	SI	SI	Se requiere un ordenador con características altas, compatible con Windows.
OptiSystem	De paga con un mes de prueba	SI	SI	Se requiere un ordenador con características bajas, compatible con Windows.

---

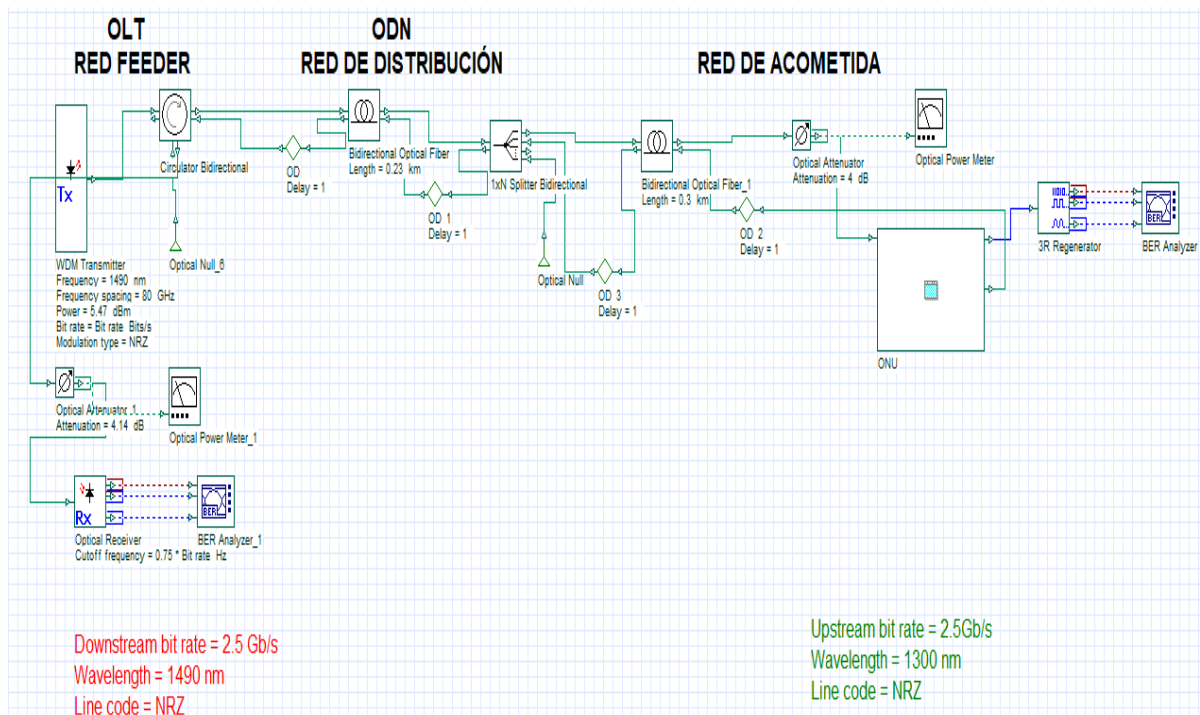
**Nota.** Fuente: Diego Endara

Como se puede apreciar en la tabla 3.12 los dos softwares analizados cumplen con los requerimientos para la simulación del presente proyecto, pero se escoge el software OptiSystem ya que su licencia es gratuita por 1 mes y basta con subscribirse a la página web para poder descargarlo, a diferencia de VPI a la cual se debe pasar por un proceso de selección luego de la suscripción para poder descargar el software en la versión gratuita.

### 3.3.1 Simulación.

Para este escenario se toma como referencia el estándar ITU-T G-984, los cuales se comparan con los valores obtenidos de la simulación en el software OptiSystem, desde la OLT hacia la ONU con un enlace bidireccional en la OND, se toma en consideración un solo nivel de splitteo de 1:32 según el diseño propuesto.

Figura 3.13 Simulación de la red GPON en OptiSystem, Diego Endara

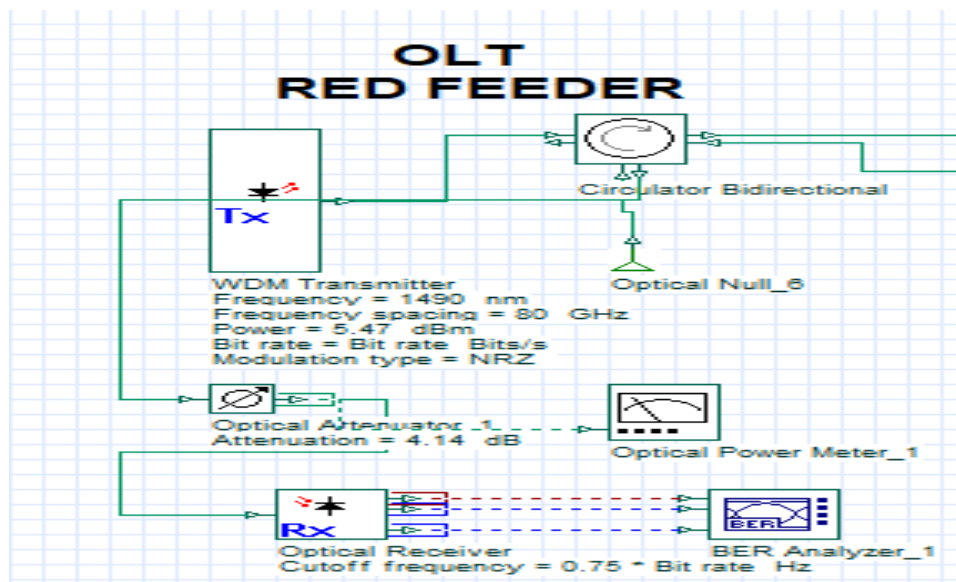


Para este diseño se toma en consideración 3 escenarios, red feeder, red de distribución, red de acometida, como se indica en la figura 3.13, los cuales se replican en la simulación, los enlaces downstream (1490 nm) y upstream (1310 nm) son de tipo simétricos los cuales trabajan a 2,5 Gb/s.

En la figura 3.14 se muestra la construcción de la OLT en el simulador OptiSystem para lo cual los datos empleados son:

- ✓ Transmisor WDM
- ✓ Frecuencia 1490 nm
- ✓ Modulación NRZ
- ✓ Se emplea un circulador óptico el cual tiene la función de separar las señales que viajan en sentidos diferentes.

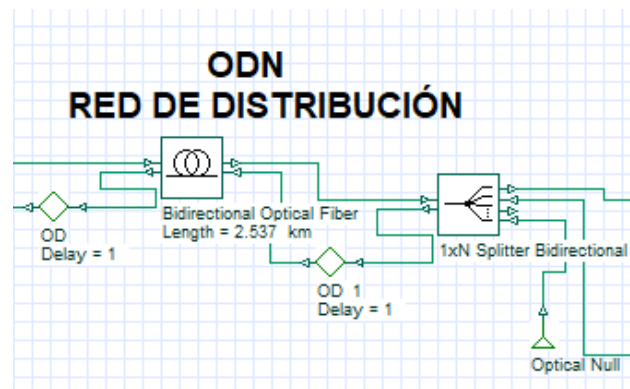
Figura 3.14 Simulación en OptiSystem de OLT red feeder, Diego Endara



En la figura 3.15 se muestra la construcción de la ODN red de distribución en el simulador OptiSystem, para lo cual los datos empleados son:

- ✓ Fibra óptica bidireccional para simulación de enlace downstream con 0.3 db de pérdida cada kilómetro, upstream con 0.35 db de pérdida cada kilómetro la cual representa una fibra G652D, la distancia depende de la ubicación del abonado.
- ✓ Splitter 1:32 con 16 db de pérdida.
- ✓ Se emplea un Delay óptico con el fin de separar los enlaces downstream (1490 nm) y upstream (1310 nm).

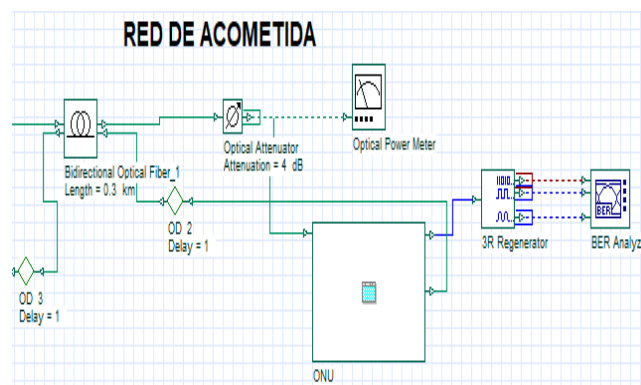
Figura 3.15 Simulación en OptiSystem de ODN red de distribución, Diego Endara



En la figura 3.16 se muestra la construcción de la red de acometida en el simulador OptiSystem, para lo cual los datos empleados son:

- ✓ Fibra óptica bidireccional para simulación de enlace downstream con 0.35 db de pérdida cada kilómetro, upstream con 0.35 db de pérdida cada kilómetro la cual representa una fibra G657A1, la distancia depende de la ubicación del abonado.
- ✓ Se emplea un atenuador con el fin de representar las pérdidas por fusión y conectores durante el recorrido del enlace.
- ✓ Para el caso de la ONU se representa como un subsistema el cual se lo muestra en la figura 3.16

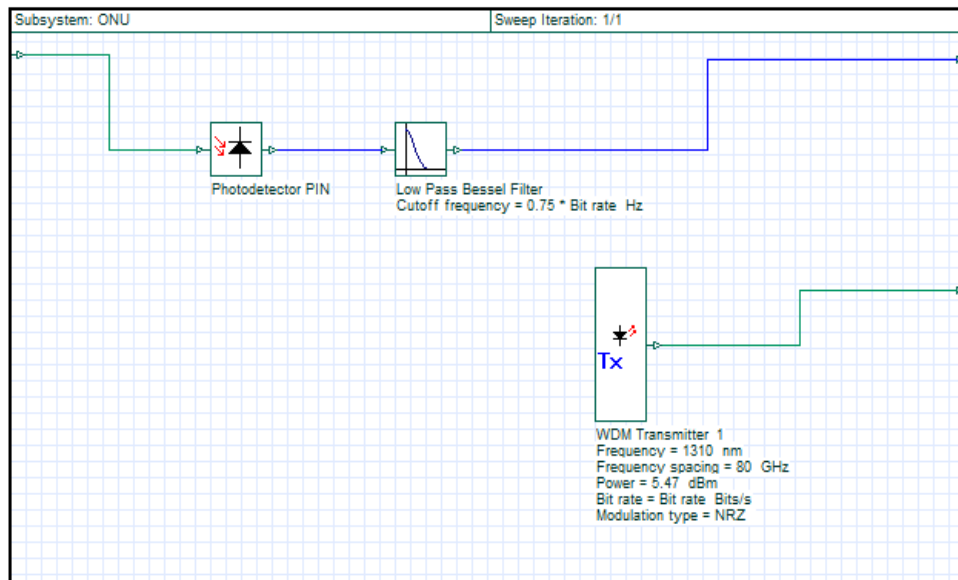
Figura 3.16 Simulación en OptiSystem de red de acometida, Diego Endara



En la figura 3.17 se muestra la construcción de la ONU en el simulador OptiSystem, para lo cual los datos empleados son:

- ✓ Transmisor WDM
- ✓ Frecuencia 1310 nm
- ✓ Modulación NRZ
- ✓ Diodo Foto receptor, filtro Bessel los cuales actúan como receptores de señal.

Figura 3.17 Simulación en OptiSystem de ONU, Diego Endara



### 3.3.2 Resultados obtenidos de la simulación en OptiSystem.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en la simulación se toma en consideración para el análisis, el diagrama de ojo, BER, los mismos que se apegan a la recomendación ITU G984.2, tanto para los enlaces downstream, upstream, del abonado cercano y del abonado lejano.

Figura 3.18 Ponencia de llegada a la ONU del usuario lejano a 2.837 Km enlace downstream 1490 nm, Diego Endara



Figura 3.19 Diagrama de ojo, BER, Q factor, ONU del usuario lejano a 2.837 Km enlace downstream 1490 nm, Diego Endara

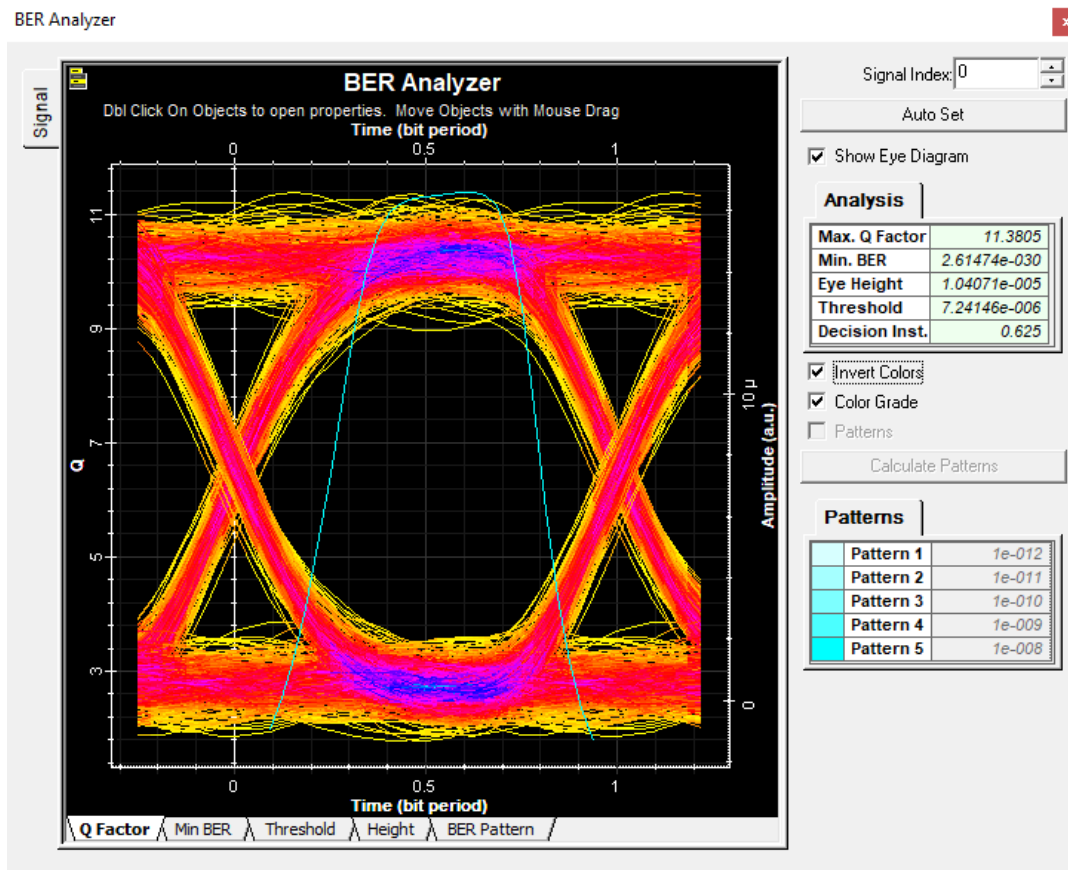


Figura 3.20 Ponencia de llegada a la OLT del usuario lejano a 2.837 Km enlace upstream  
1310 nm, Diego Endara



Figura 3.21 Diagrama de ojo, BER, Q factor, llegada a OLT del usuario lejano a 2.837 Km  
enlace upstream 1310 nm, Diego Endara

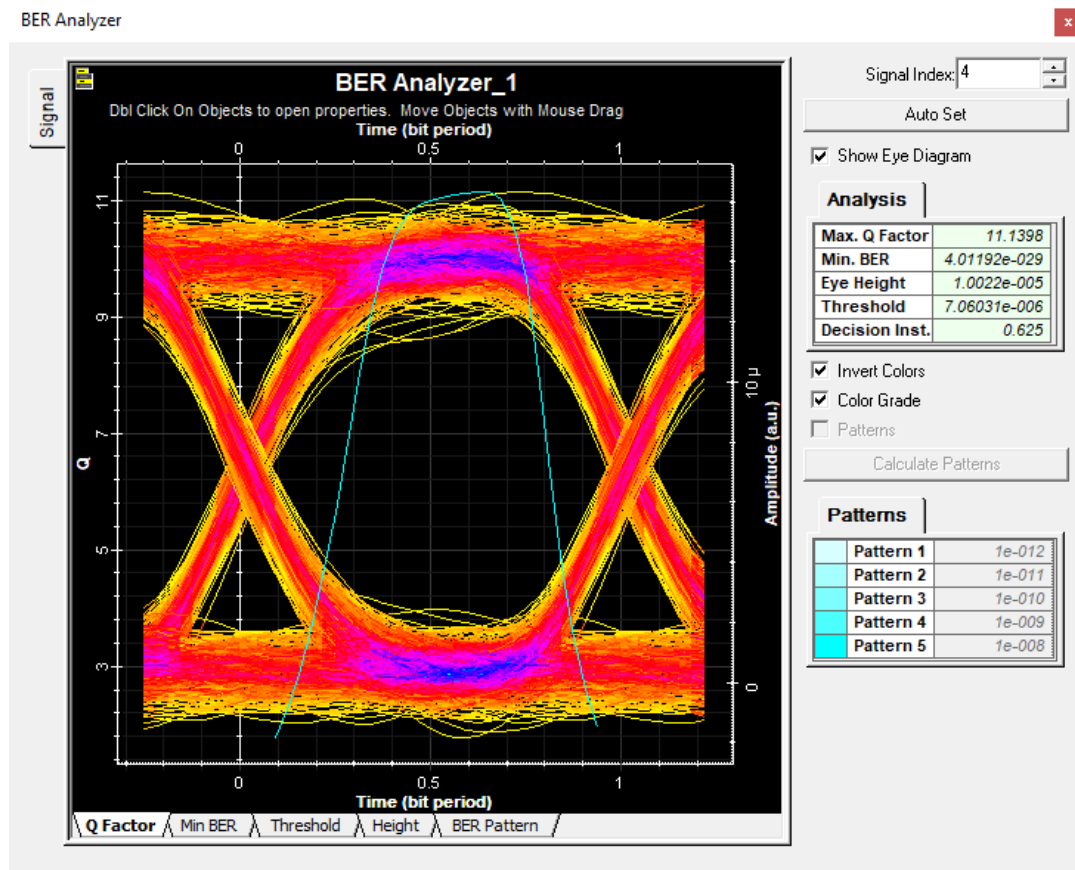


Figura 3.22 Potencia de llegada a la ONU del usuario cercano a 530 m enlace downstream  
1490 nm, Diego Endara

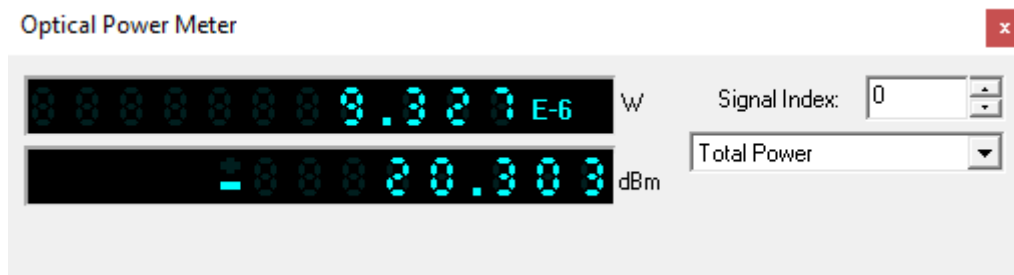


Figura 3.23 Diagrama de ojo, BER, Q factor, ONU del usuario cercano a 530 m enlace  
downstream 1490 nm, Diego Endara

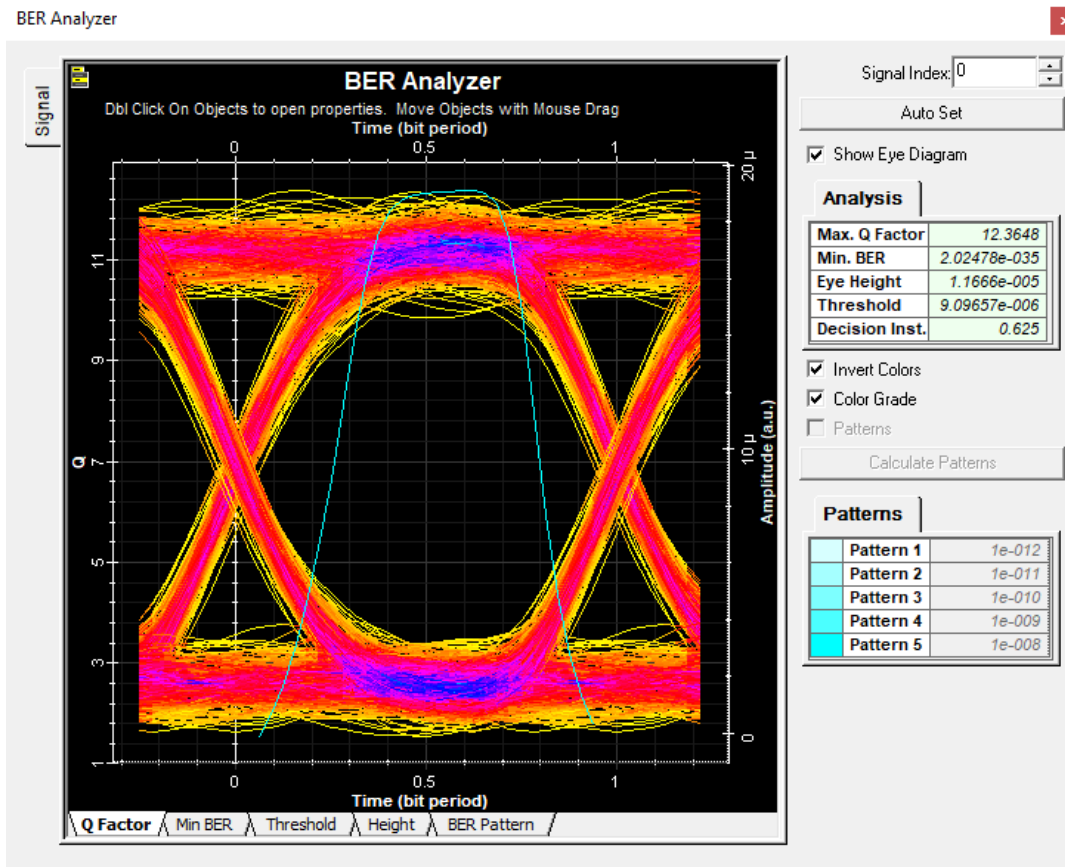
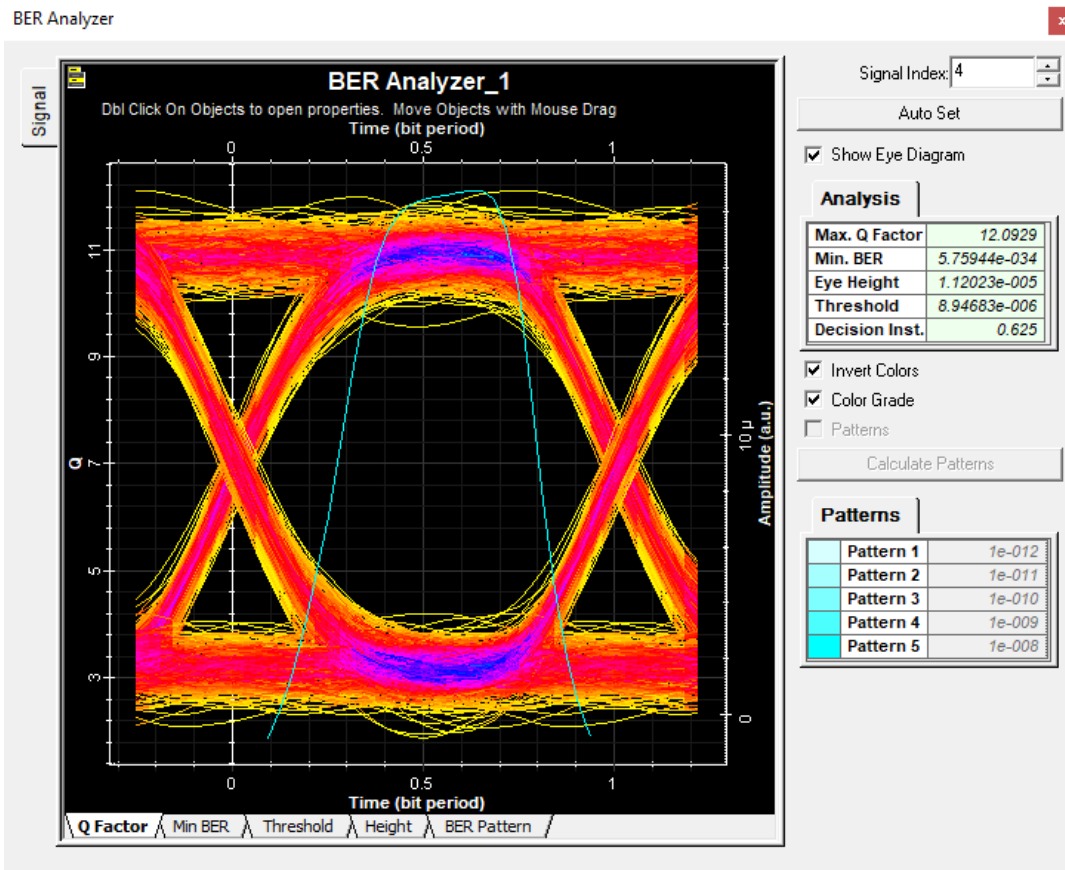


Figura 3.24 Ponencia de llegada a la OLT del usuario cercano a 530 m enlace upstream  
1310 nm, Diego Endara



Figura 3.25 Diagrama de ojo, BER, Q factor, llegada a OLT del usuario cercano a 530 m  
enlace upstream 1310 nm, Diego Endara



### 3.3.3 Análisis de los resultados obtenidos de la simulación en OptiSystem.

En la siguiente sección se realiza una tabla comparativa de los valores obtenidos y de los valores que recomienda la norma G984.2 para el caso de BER y potencia.

Tablas 3.13

*Tabla comparativa de valores obtenidos con recomendación ITU-T G984.X*

Enlace	BER G984.2	BER	Potencia (dB)		Potencia (dB)	
		Simulación	G984.2	simulación		
DW 1490 usuario lejano	Menor a 1e-10	2,614e-30	- 27	-	21,27	-
UP 1310 usuario lejano	Menor a 1e-10	4,011e-29	- 28	-	21,41	-
DW 1490 usuario cercano	Menor a 1e-10	2,024e-35	- 27	-	20,30	-
UP 1310 usuario cercano	Menor a 1e-10	5,75e-34	- 28	-	20,44	-

**Nota.** Fuente: Diego Endara

Si se analiza la tabla 3.13 en todos los casos se cumple con la recomendación ITU-T G984.2 con los valores de BER y potencia para el diseño y simulación propuestos en este proyecto por lo que técnicamente es viable, cabe señalar que se dispone de 15 hilos libres en la red fidder y 7 puertos libres en la OLT, los cuales permiten un escalamiento de usuarios en el futuro.

### 3.4 Análisis de propuesta técnica y tiempo de recuperación.

Para este diseño se requiere un análisis económico para poder determinar la inversión a realizar, y el tiempo de la misma para la recuperación de capitales invertidos, para lo cual se toma en consideración los costos de implementación y puesta en marcha del sistema.

En las tablas 3.14, 3.15, 3.16 se indican los egresos que se tienen a lo largo de la implementación y administración del proyecto.

En la tabla 3.14 se presenta los precios referenciales al año 2022 de los materiales a utilizar en el presente diseño.

Tablas 3.14

*Precios referenciales de materiales a utilizar*

#	COMPONENTE	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Total \$
1	Router Mikrotic CCr 1036 12G	U	1	1299	1299
2	OLT Huawei MA5608T con tarjeta de 16 puertos C++	U	1	3500	3500
3	Rack cerrado 42 u	U	1	975	975
4	ODF IN 24P	U	1	250	250
5	ODF OUT 24P	U	1	250	250
6	Manga de Fusión 24 hilos	U	1	120	120
7	NAP 1:32 GPDB-S32D	U	9	120	1080
8	Roseta Optica	U	273	5	1365
9	ONU Huawei hg8546m	U	273	50	13650
10	Patch core fibra OLT SC 1 m	U	17	2	34
11	Patch core fibra ONU 1 m	1m/U	273	2	546
12	Fibra G652D 24 hilos	Km	4	1500	6000
13	Fibra ADSS G657A1	Km	20	80	1600
14	Herraje tipo A	U	84	4	336
15	Hebillas ¾	U	168	5	840
16	Preformado	U	168	5	840
17	Amarras	U	2 fundas de 100	3	6

18	Etiquetas	U	84	7	588
19	Armario de distribución de 24 hilos	U	1	350	350
20	SPF 10 G SR cisco	U	2	250	500
21	Cinta metálica ¾	m	168	25 cada 30 m	201,6
22	UPS Apc Srv3ka Online 3000va 3kva 2400w	U	1	850	850
Total					35180.6

**Nota.** Fuente: Diego Endara

En la tabla 3.15 se indica los precios por mano de obra referenciales empleados en el proyecto para la instalación de equipos tanto en la red feeder, red de distribución y red de acometida.

Tablas 3.15

*Precios referenciales de mano de obra 2022*

Actividad a realizar	Cantidades	Precio Unitario	Total \$
Instalación y configuración de Router	1	1000	1000
Instalación y configuración de OLT	1	2000	2000
Instalación de rack F.O. con accesorios	1	250	250
Instalación y fusión a red de distribución Spliter 1:32	9	180	1620
Pruebas de atenuación en red de distribución	9	50	450

Despliegue de F.O. de red de distribución a postes	3.752 Km	0.65	2438.8
Instalación y fusión de ODF IN	1	200	200
Instalación y fusión de ODF OUT	1	200	200
Instalación y armado de manga de fusión	1	300	300
Instalación y configuración de ONU a la red de acometida (incluido fusión)	273	30	8190
		Total	16648.8

**Nota.** Fuente: Diego Endara

En la tabla 3.16 se indica los precios de administración, alquileres del sistema.

Tablas 3.16

*Precios referenciales de administración y alquileres 2022*

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total \$
Alquiler de ancho de banda a ISP	2000 Mb al mes	2	4000
Alquiler de local incluido servicios básicos	1 al mes	600	600
Alquiler de postes	84 al mes	4	336
Ingenieros de administración	1 al mes	1200	1200
Técnicos de campo	1 al mes	600	600
Ing. Administración de empresas (Contabilidad)	1 al mes	1000	1000
Ventas y promociones	1 al mes	425	425
		Total	8161
		Total al año	97932

**Nota.** Fuente: Diego Endara

En la tabla 3.17 se indica el total de ingresos tanto mensuales como anuales

Tablas 3.17

*Ingresos por parte de planes a usuarios finales*

Plan	Usuarios	Precio	Total \$
Básico 20 Mb	192	30	5760
Intermedio 40 Mb	56	40	2240
Plus 70 Mb	25	70	1750
		Total por mes	9750
		Total por año	117000

**Nota.** Fuente: Diego Endara

En la tabla 3.18 se indica los ingresos y egresos anuales de los cuales se puede determinar el tiempo para empezar a generar ganancias, el total del primer año se suma como egreso del segundo año ya que es un valor negativo el mismo caso aplica para el segundo año, a partir del 3 año el total se suma a los ingresos ya que es un valor positivo.

Tablas 3.18

*Total de ingresos y egresos anuales*

Rubro	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año
Egresos \$	149761,4	130693,4	111625,4	97932	97932	97932
Ingresos \$	11700	11700	11700	122374,6	141442,6	160510,6
<b>Total</b>	<b>-32761,4</b>	<b>-13693,4</b>	<b>5374,6</b>	<b>24442,6</b>	<b>43510,6</b>	<b>62578,6</b>

**Nota.** Fuente: Diego Endara

## Conclusiones

- De acuerdo a las encuestas realizadas en las zonas densamente pobladas de la parroquia Checa, se obtiene la ruta de despliegue de la red de distribución la cual indica la cobertura disponible como se indica en la figura 3.7 alcanzando un número de 273 usuarios conectados simultáneamente.
- Se diseña una propuesta técnica la cual cubre 273 usuarios conectados, se define para la red Feeder, red de distribución una fibra G652D ADSS, y para la red de acometida una fibra G.657.A1, se establece el nodo principal y los equipos a emplear como indica la figura 3.8, 310 de la cual se distribuye a los splitters ópticos ubicados en los postes por donde va el recorrido de la fibra óptica, como se puede apreciar en la figura 3.9.
- Para la simulación de la red Gpon se escoge el software Optisystem el cual permite obtener los datos de las pérdidas de potencia totales y el BER, para posteriormente compararlos con la norma ITU-T G984.2
- Para el enlace ascendente del usuario más lejano se obtiene una potencia de -21.413 dB con un BER de  $4.0119 \times 10^{-29}$ , para el enlace descendente del usuario más lejano se obtiene una potencia de -21.27 dB con un BER de  $2.614 \times 10^{-30}$ , el cual si lo comparamos con la norma ITU-T G984.2 de la tabla 2.2, se está en los rangos aceptables.
- Para el enlace ascendente del usuario más cercano se obtiene una potencia de -20.41 dB con un BER de  $5.759 \times 10^{-34}$ , para el enlace descendente del usuario más cercano se obtiene una potencia de -20.303 dB con un BER de  $2.024 \times 10^{-35}$ , el cual si lo comparamos con la norma ITU-T G984.2 de la tabla 2.2, se está en los rangos aceptables.

- En la tabla 3.18 se observa que se tiene una ganancia a partir del tercer año de 5734.6 dólares lo cual indica que se estaría recuperando la inversión con un 59,57 % de ocupación total en la red en la parroquia Checa, quedando con la posibilidad de crecimiento de la red en un 40,42 % lo cual se traduce en más usuarios y por ende más ganancias, en este punto se contempla un ítem de ventas como se indica en la tabla 3.16, dejando la posibilidad de incremento de usuarios en un futuro.

### **Recomendaciones**

- Se recomienda para un posible crecimiento de la red en un futuro, considerar el despliegue de la red de distribución de la figura 3.9 para no sobrepasar los 20 km de los puntos de fusión a incrementar para los nuevos usuarios.
- Para utilizar al 100% la fibra G652D ADSS de la red de distribución se recomienda cambiar la OLT con más puertos en una posible escalabilidad futura para generar más ingresos económicos.

## **Bibliografía**

- Alvarez, P. E. (2020). DISEÑO Y SIMULACIÓN PARA LA AMPLIACIÓN DE LA RED. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA*, 15.
- ARCOTEL. (2018). *Boletín Estadístico*. Obtenido de <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-FEBRERO-2019-Cierre-2018.pdf>
- Bastidas, D., & Medina, P. (2010). Estimación de la densidad poblacional del Ecuador Continental. *Analitika*, 89.
- Benavides, E. (2010). Estudio De Encuestas. *ACADMIA*.
- Carrera, A. (2016). Diseño de una red de planta externa FTTH con tecnología GPON para la población de Barreiro Nuevo, de la ciudad de Babahoyo,. *PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR*, 7, 8, 10.
- CNT, C. N. (2021). *Cobertura Fibra Óptica GPON Checa*. Obtenido de <https://gis.cnt.gob.ec/appgeoportal/index.php?u=-78.32482,-0.12898,15>
- CNT, C. N. (2021). *Guía Telefónica*. Obtenido de [https://micnt.com.ec/cntapp/guia104/php/guia\\_cntat.php](https://micnt.com.ec/cntapp/guia104/php/guia_cntat.php)
- COMMSCOPE. (2018). FTTX FIBRA A LA X PRINCIPIOS BÁSICOS. *COMMSCOPE*, 32, 33, 34.
- Enfoque, U. R. (10 de 2016). *Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x*. Obtenido de [http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/public/journals/1/html\\_v7n4/art002.html](http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/public/journals/1/html_v7n4/art002.html)
- Fernández, A., & Ruiz, N. (2004). *Muestreo Estadístico*. España: Septem Ediciones.
- GAD, C. (2021). *Parroquia Checa*. Obtenido de <https://checa.gob.ec/>
- INEC. (2010). *POBLACIÓN, SUPERFICIE (KM<sup>2</sup>), DENSIDAD POBLACIONAL A NIVEL PARROQUIAL*. Quito: Instituto Nacional de estadísticas y Censos.

- INEC, I. N. (Enero de 2010). *Promedio de personas por hogar*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=337&force=1>
- INEC, I. N. (Diciembre de 2020). *Tecnologías de la Información y Comunicación-TIC*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/tecnologias-de-la-informacion-y-comunicacion-tic/>
- iptel. (2015). *Que es FTTH* . Obtenido de <https://www.iptel.com.ar/que-es-ftth-o-fibra-al-hogar/>
- Lastra, R. P. (2000). Encuestas probabilísticas vs. no probabilísticas. *redalyc*.
- Marchukov, Y. (2011). *Desarrollo de una aplicación gráfica de infraestructuras FTTH*. Obtenido de RiuNet: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13413/memoria.pdf>
- Montoya, S., Herrera, M., & Barrera, J. (2017). Límites de velocidad y distancia en la transmisión de información por un enlace óptico de bajo costo con recuperación libre de ruido. *Redalyc*.
- Optiwave. (2021). *Software Fotónico*. Obtenido de <https://optiwave.com/>
- Pomboza, M., Samaniego, N., & Villacrés, E. (2019). Red óptica pasiva para proveer de Internet a la ciudad de Riobamba - Ecuador. *Espacios*, 12.
- Quisnancela, E., & Espinosa, N. (2016). Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x. *Enfoque UTE*, 19.
- Rodriguez, Y. (2009). Fibra Óptica. *Ebook Central*, 6.
- SYSCOM. (30 de Junio de 2017). *Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit (GPON)*. Obtenido de <https://www.syscomblog.com/2017/06/red-optica-pasiva-con-capacidad-de.html>
- Valencia, J. (2016). *Calameo*. Obtenido de Redes GPON: <https://es.calameo.com/read/0047995158b5816b8cbc2>

VPIPhotonics. (2021). *Design of Photonic Integrate Circuits*. Obtenido de

<https://www.vpiphotonics.com/Tools/PhotonicCircuits/Features/>

Zapata Rivera, C., Iglesias Rodríguez , E., & García Zaballos , A. (Febrero de 2020). *BDI,*

*Banco Internacional de Desarrollo*. Obtenido de

[https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Estado\\_actual\\_de\\_las\\_telecomunicaciones\\_y\\_la\\_banda\\_ancha\\_en\\_Ecuador.pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Estado_actual_de_las_telecomunicaciones_y_la_banda_ancha_en_Ecuador.pdf)