



MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN CON MENCIÓN REDES  
DE COMUNICACIONES

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
MÁSTER EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN CON MENCIÓN REDES DE  
COMUNICACIONES

PLAN DE DISERTACIÓN

“ESTUDIO PARA EL CAMBIO DE NIVEL DE SPLITTEO DE UNA RED  
EXISTENTE FTTH CON TECNOLOGÍA GPON EN LA CIUDAD DE QUITO PARA LA  
CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP”

AUTOR: PATRICIO ANDRES DUQUE NOVILLO

QUITO, 2023

## **DEDICATORIA**

A mis padres Patricio y Martha, por su amor y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida. Muchas gracias por su ejemplo.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi novia, Camila Carrera, por su apoyo durante todo este tiempo para culminar mis estudios.

A mis compañeros de la maestría y de CNT, quienes me colaboraron y guiaron con su experiencia.

**TABLA DE CONTENIDOS**

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO .....	3
TABLA DE CONTENIDOS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
CAPÍTULO 1.....	12
1.1. Introducción .....	12
1.2. Justificación.....	12
1.3. Antecedentes .....	13
1.4. Objetivos .....	15
1.4.1. Objetivo general.....	15
1.4.2. Objetivos específicos .....	15
CAPÍTULO 2.....	16
2.1. Redes de fibra hasta un punto X (FTTx).....	16
2.1.1. Fibra hasta el hogar (FTTH por sus siglas en ingles) .....	17
2.1.2. Fibra hasta el edificio (FTTB por sus siglas en ingles) .....	17

2.1.3. Fibra hasta el gabinete (FTTC por sus siglas en ingles).....	17
2.2. Red de distribución óptica (ODN) .....	17
2.3. Terminal óptico de línea (OLT).....	18
2.4. ODF de planta interna .....	19
2.5. ODF de planta externa.....	20
2.6. Red feeder o Red troncal.....	21
2.6.1. Manga de empalme o fusión.....	22
2.6.2. Armario o manga troncal .....	23
2.6.3. Splitters.....	25
2.7. Red de distribución.....	27
2.7.1. Caja de distribución (NAP, FDB o FDF).....	27
2.8. Red de dispersión .....	28
2.8.1 Roseta óptica.....	28
2.8.2. ONT (Terminal de Red Óptico).....	29
2.9. Cable de fibra óptica .....	29
2.10. Atenuación en la red ODN .....	30
2.11. Software de simulación OptiSystem .....	31

CAPÍTULO 3.....	32
3.1. Metodología .....	32
3.2. Cálculo de la muestra .....	33
3.3. Selección de Distritos.....	34
3.4. Análisis de distritos .....	38
3.4.1. Distrito 2022.F02M22 .....	39
3.4.2. Distrito 2451.F01M09 .....	43
3.4.3. Distrito 2012.F04M07 .....	47
3.4.4. Distrito 2206.F03M04 .....	50
3.5. Simulación de la red GPON existente.....	54
3.5.1. Resultados obtenidos de la simulación de la red GPON con nivel de splitteo 1:64 .....	57
3.5.2. Resultados obtenidos de la simulación de la red GPON con nivel de splitteo 1:128 .....	65
CONCLUSIONES .....	75
RECOMENDACIONES.....	77
BIBLOGRAFÍA.....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tipo de splitter de acuerdo con su modelo y aplicación.....	26
Tabla 2.2 Atenuación típica en los elementos pasivos de una red ODN.....	30
Tabla 3.1 Distritos seleccionados para el análisis de cambio de nivel de spitteo.....	35
Tabla 3.2 Crecimiento de velocidad de descarga de internet fijo en el mundo.....	35
Tabla 3.3 Porcentaje de ocupación de la red.....	37
Tabla 3.4 Distancia recorrida por caja de distribución para el distrito 2022.F02M22.....	41
Tabla 3.5 Atenuación de la onda de acuerdo con el cálculo teórico para nivel de spitteo 1:32, 1:128 y la medición en campo con OTDR para el distrito 2022.F02M22.....	42
Tabla 3.6 Distancia recorrida por caja de distribución para el distrito 2451.F01M09.....	45
Tabla 3.7 Atenuación de la onda de acuerdo con el cálculo teórico para nivel de spitteo 1:64, 1:128 y la medición en campo con OTDR para el distrito 2451.F01M09.....	46
Tabla 3.8 Distancia recorrida por caja de distribución para el distrito 2451.F01M09.....	49
Tabla 3.9 Atenuación de la onda de acuerdo con el cálculo teórico para nivel de spitteo 1:64, 1:128 y la medición en campo con OTDR para el distrito 2012.F04M07.....	49
Tabla 3.10 Distancia recorrida por caja de distribución para el distrito 2206.F03M04.....	52
Tabla 3.11 Atenuación de la onda de acuerdo con el cálculo teórico para nivel de spitteo 1:64, 1:128 y la medición en campo con OTDR para el distrito 20206.F03M04.....	53

Tabla 3.12 Comparación de valores obtenidos mediante simulación para nivel de splitteo

1:64.....65

Tabla 3.13 Comparación de valores obtenidos mediante simulación para nivel de splitteo

1:128.....74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Tipos de redes FTTx.....	16
Figura 2.2 Elementos de la red de distribución óptica (ODN).....	18
Figura 2.3 Equipo óptico de línea (OLT).....	19
Figura 2.4 Rack de Planta Interna.....	20
Figura 2.5 Esquema de ubicación de cables feeder en rack de planta externa.....	21
Figura 2.6 Manga de empalme tipo domo.....	22
Figura 2.7 Vista exterior de armario FDH.....	24
Figura 2.8 Vista interna de armario FDH.....	24
Figura 2.9 Splitter 1/4 PLC en manga troncal.....	26
Figura 2.10 Caja de distribución óptica canalizada.....	27
Figura 2.11 Roseta óptica.....	28
Figura 2.12 Modelo de terminal de red óptico (ONT).....	29
Figura 3.1 Elementos que componen la red ODN.....	38
Figura 3.2 Ubicación distrito 2020.F02M22.....	40
Figura 3.3 Red de distribución del distrito 2022.F02M22.....	40
Figura 3.4 Ubicación de distrito 2451.F01M09.....	44
Figura 3.5 Red de distribución del distrito 2451.F01M09.....	44
Figura 3.6 Ubicación distrito 2012.F04M07.....	47

Figura 3.7 Red de distribución del distrito 2012.F04M07.....	48
Figura 3.8 Ubicación distrito 2206.F03M04.....	51
Figura 3.9 Red de distribución del distrito 2206.F03M04.....	51
Figura 3.10 Simulación en OptiSystem de la red GPON para nivel de splitteo 1:64.....	56
Figura 3.11 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja A1 del distrito 2022.F02M22.....	57
Figura 3.12 Potencia de salida en la caja A1 del distrito 2022.F02M22.....	58
Figura 3.13 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja F2 del distrito 2022.F02M22.....	58
Figura 3.14 Potencia de salida en la caja F2 del distrito 2022.F02M22.....	59
Figura 3.15 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja A1 del distrito 2454.F01M09.....	59
Figura 3.16 Potencia de salida en la caja A1 del distrito 2454.F01M09.....	60
Figura 3.17 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja G2 del distrito 2454.F01M09.....	60
Figura 3.18 Potencia de salida en la caja G2 del distrito 2454.F01M09.....	61
Figura 3.19 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja A1 del distrito 2012.F04M07.....	61
Figura 3.20 Potencia de salida en la caja A1 del distrito 2012.F04M07.....	62
Figura 3.21 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja D1 del distrito 2012.F04M07.....	62
Figura 3.22 Potencia de salida en la caja D1 del distrito 2012.F04M07.....	63
Figura 3.23 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja H1 del distrito 2206.F03M04.....	63
Figura 3.24 Potencia de salida en la caja H1 del distrito 2206.F03M04.....	64

Figura 3.25 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja G4 del distrito 2206.F03M04.....	64
Figura 3.26 Potencia de salida en la caja G4 del distrito 2206.F03M04.....	65
Figura 3.27 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja A1 del distrito 2022.F02M22.....	66
Figura 3.28 Potencia de salida en la caja A1 del distrito 2022.F02M22.....	66
Figura 3.29 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja F2 del distrito 2022.F02M22.....	67
Figura 3.30 Potencia de salida en la caja F2 del distrito 2022.F02M22.....	67
Figura 3.31 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja A1 del distrito 2451.F01M09.....	68
Figura 3.32 Potencia de salida en la caja A1 del distrito 2451.F01M09.....	68
Figura 3.33 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja G2 del distrito 2451.F01M09.....	69
Figura 3.34 Potencia de salida en la caja G2 del distrito 2451.F01M09.....	69
Figura 3.35 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja A1 del distrito 2012.F04M07.....	70
Figura 3.36 Potencia de salida en la caja A1 del distrito 2012.F04M07.....	70
Figura 3.37 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja D1 del distrito 2012.F04M07.....	71
Figura 3.38 Potencia de salida en la caja D1 del distrito 2012.F04M07.....	71
Figura 3.39 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja H1 del distrito 2206.F03M04.....	72
Figura 3.40 Potencia de salida en la caja H1 del distrito 2206.F03M04.....	72
Figura 3.41 BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja G4 del distrito 2206.F03M04.....	73
Figura 3.42 Potencia de salida en la caja G4 del distrito 2206.F03M04.....	73

## CAPÍTULO 1

### 1.1. Introducción

Existe la tendencia hacia las redes convergentes, estas son redes que soportan múltiples servicios y su capacidad de respuesta que se requiere es alta. Hoy en día el ancho de banda requerido por los usuarios amerita la creación de medios de transmisión con niveles de velocidad altos y gran rendimiento (Solano, 2015, p. 12). Es por esto, que la CNT EP inició en varias ciudades del Ecuador, la migración de sus servicios de cobre a la tecnología GPON. No obstante, debido al crecimiento de la demanda de banda ancha en sectores de la Ciudad de Quito, los equipos instalados para la implementación de la red GPON, no dan la capacidad con un espacio limitado por lo que se requiere una mayor inversión para realizar trabajos de obra civil y tener espacio en las centrales que en un inicio fueron diseñadas para soportar solamente la tecnología de cobre. Por lo tanto, se ve necesario un análisis de la infraestructura existente de red de fibra óptica con tecnología GPON, para optimizar los puertos de cada uno de los Terminales de Línea Óptica (OLT), realizando el cambio de nivel de splitteo de la red existente, en donde los elementos que componen la red como son, distancia recorrida de la fibra y elementos pasivos, permita cumplir la calidad de servicio y los estándares de la Normativa de CNT.

### 1.2. Justificación

La CNT EP, se encuentra en el proceso de migración de su red de cobre a la Red de Distribución Óptica basándose en tecnología GPON, la cual permite que varios abonados puedan compartir la misma red de distribución mediante el uso de divisores ópticos.

Un factor determinante en el diseño de redes ópticas es el cálculo del presupuesto óptico, el cual debe encontrarse dentro de los límites establecidos por la “Normativa técnica de diseño de planta externa con fibra óptica (ODN-Optical Distribution Network) de la CNT EP.

Ante el aumento de demanda de barrios en expansión y sectores que requieren un mayor ancho de banda ya que la red de cobre actualmente no satisface las necesidades de navegación requeridas. Es importante tener en cuenta que la migración de una red de cobre a una red GPON puede ser un proceso costoso, pero que puede proporcionar una serie de beneficios, entre ellos la reducción de costo operativo a largo plazo. Debido a las limitaciones presupuestarias y para optimizar la infraestructura civil, las OLT (Optical Line Termination) se han ubicado en las centrales existentes, mismas que albergan equipos con tecnología de cobre, por lo que en varios nodos el espacio para ubicación de nuevos racks y equipos es limitado.

Es por esto que se plantea el análisis del cambio de nivel de splitteo de 1:64 a 1:128 de la red existente GPON de la empresa CNT EP, ya que con esto es factible aumentar la capacidad de la red y permitir que se ofrezca el servicio con mejores estándares de calidad y eficiencia a una mayor cantidad de clientes sin necesidad de desplegar infraestructura adicional. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el diseño debe cumplir con las especificaciones técnicas y con la calidad de servicio requerida.

### **1.3. Antecedentes**

Hay varias investigaciones relacionadas al estudio de redes GPON tanto a nivel local como internacional, esto está siendo impulsada por la necesidad de proporcionar servicios de internet de alta velocidad a los usuarios.

El estudio realizado por Pardo, 2021; servirá para la identificación del diseño de una red FTTH para la CNT EP, también la identificación de los materiales utilizados actualmente para el despliegue de red GPON.

La evaluación realizada por Manjarrez, 2017; de igual forma servirá de guía para la medición de parámetros óptimos de la calidad de servicio, adicional la aplicación del software Optisystem con la normativa de CNT EP.

El estudio realizado por Cedillo y Nieto, 2019; permite evaluar el presupuesto óptico para la red GPON de la CNT en la ciudad de Azogues. Será una referencia para comparar los resultados obtenidos en la simulación del estudio.

Una vez identificado los parámetros de la arquitectura de la red GPON, es necesario el análisis de la red, para lo cual la CNT EP, tiene varias normativas que servirán como guía para el cumplimiento del objetivo de esta investigación. “Norma técnica para dibujo de redes de planta externa” (CNT EP, 2015). “Normas de diseño y construcción de redes de telecomunicaciones con fibra óptica” (CNT EP, 2012). “Normativa técnica de diseño de planta externa con fibra óptica (ODN-Optical Distribution Network) (CNT EP, 2017). Estas normativas aportarán en esta investigación para el cálculo del presupuesto óptico de la red.

El análisis realizado por Endara, 2021, aporta a la presente investigación con el cumplimiento de la calidad de servicio, de acuerdo con la norma ITU G984.

Finalmente, para la etapa de simulación y análisis de resultados, el libro de Campos, 2016, aporta con ejercicios de simulación de redes ópticas utilizando el software Optisystem y servirá para la identificación de las variables en el software.

En general, estas investigaciones muestran que la implementación de redes GPON en Ecuador y el mundo es una tendencia creciente, tanto en el sector público como privado con el objetivo de proporcionar servicios de internet de alta velocidad y optimizando el beneficio de las empresas sin afectar el servicio a los clientes finales.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

- Realizar un estudio para el cambio de nivel de splitteo de 1:64 a 1:128 de una red existente FTTH con tecnología GPON en la ciudad de Quito para la CNT EP, con la finalidad de llegar a una optimización de la red

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Analizar los elementos pasivos que componen la red GPON para la valoración del presupuesto óptico.
- Recopilar mediciones del presupuesto óptico dentro de la red GPON de CNT en la ciudad de Quito para detectar las variaciones en pérdidas de la red para verificar el cumplimiento de la Normativa Técnica de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica.
- Simular una red existente GPON con nivel de splitteo 1:64 mediante software Optisystem y comparar los resultados con las mediciones realizadas en campo.
- Evaluar mediante simulación una propuesta técnica con materiales y equipos existentes en CNT una propuesta de diseño de red GPON con splitteo 1:128 que cumpla los parámetros de calidad de transmisión óptica en cuanto a la atenuación y BER.

## CAPÍTULO 2

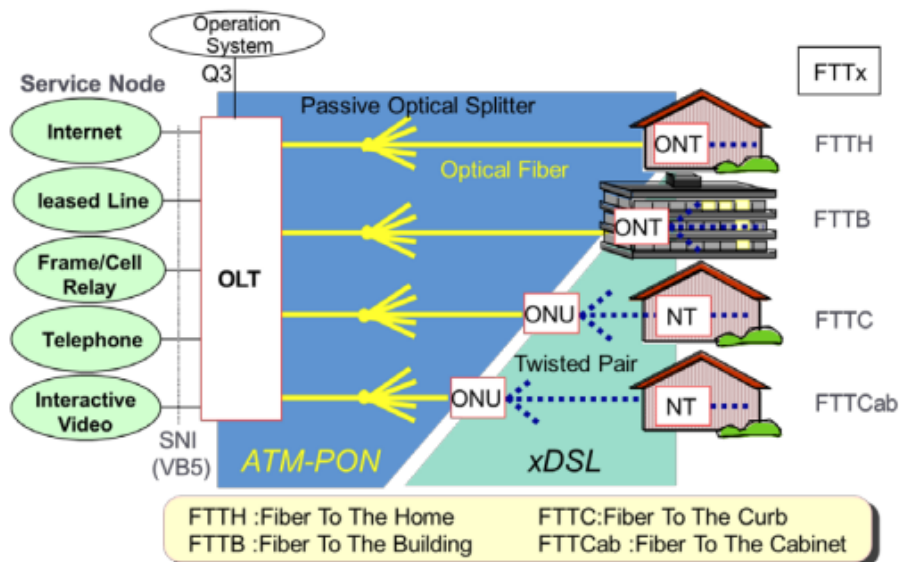
Para el presente capítulo, se presenta el contenido teórico relacionado a la tecnología GPON, se abordará los distintos elementos que componen el funcionamiento de una red FTTH de acuerdo con la arquitectura que maneja la CNT EP.

### 2.1. Redes de fibra hasta un punto X (FTTx)

Este tipo de redes utiliza la fibra óptica como medio de transporte para el envío y recepción de información y dependerá de la arquitectura para llegar hasta un punto cercano al usuario final (Arévalo, 2022, p. 3).

**Figura 2.1**

*Tipos de redes FTTx*



*Fuente: Arévalo (2022).*

Este tipo de arquitectura se encuentra en la implementación de la red de CNT EP. La figura 2.1 evidencia las principales redes FTTx.

### **2.1.1. Fibra hasta el hogar (FTTH por sus siglas en ingles)**

Desde la central de proveedor de servicios hasta la terminal óptica que se encuentra en el hogar u oficina del usuario, es un enlace se lo realiza por cable de fibra óptica. (Arévalo, 2022, p. 3). Esta tecnología se toma como referencia para la presente investigación, ya que actualmente la CNT EP trabaja con este tipo de red.

### **2.1.2. Fibra hasta el edificio (FTTB por sus siglas en ingles)**

Es un enlace de fibra óptica que llega hasta el edificio o conjunto donde se encuentra el abonado. La conexión final desde la acometida del edificio o conjunto hasta el abonado se realiza con cable de cobre. (Arévalo, 2022, p. 4).

### **2.1.3. Fibra hasta el gabinete (FTTC por sus siglas en ingles)**

El enlace de fibra óptica llega hasta un gabinete o armario ubicado en la calle o espacio público y desde este armario el enlace hasta el abonado se lo realiza mediante cable de cobre. (Arévalo, 2022, p. 4).

## **2.2. Red de distribución óptica (ODN)**

La ODN por sus siglas en inglés, es el conjunto de elementos pasivos que interconectan un equipo terminal con la central local; comprende la red troncal o feeder, red de distribución y la red de dispersión hasta llegar al abonado. Para una red GPON se debe garantizar un presupuesto óptico máximo de 25dB, desde la OLT hasta la ONT que está instalada en el domicilio o lugar solicitado por el cliente (CNT EP, 2017, p. 7). En la figura 2.2 se indica un esquema de la arquitectura de una ODN.

**Figura 2.2***Elementos de la red de distribución óptica (ODN)**Nota. CNT EP (2017)*

### 2.3. Terminal óptico de línea (OLT)

La OLT es un equipo activo que gestiona el tráfico desde el uplink MPLS y deriva a todas las fibras que atienden al cliente final. (Santana, 2022, p. 29). Es el equipo GPON que gestiona y controla el servicio de ancho de banda y sincroniza el tráfico hacia y desde los equipos terminales. Este equipo está compuesto por tarjetas que contienen los puertos PON, cada uno de estos puertos puede transmitir a distancias de 20km y conectar hasta 128 clientes, dependiendo de la arquitectura del diseño de red. (Pardo, 2021, p. 28)

### Figura 2.3

*Equipo óptico de línea (OLT)*



*Nota. CNT EP (2017)*

### 2.4. ODF de planta interna

Permite la distribución de la fibra óptica, ayuda a la interconexión entre los hilos del cable feeder, con los puertos del equipo activo OLT. En esta ODF se reflejan los puertos de la tarjeta OLT, lo cual permite un mejor manejo, organización y distribución entre los patch cords y cables. (CNT EP, 2017, p. 58). En la figura 2.4 se muestra un rack de Planta Interna de la CNT EP, el mismo que contiene los ODF.

**Figura 2.4***Rack de Planta Interna*

*Nota. CNT EP (2017)*

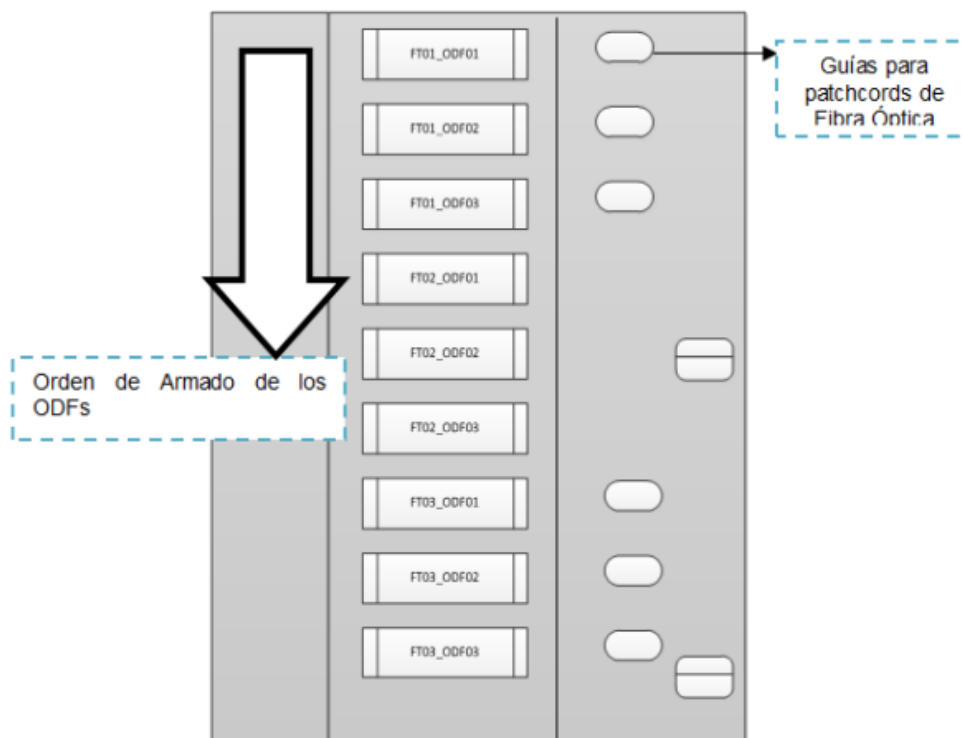
**2.5. ODF de planta externa**

Esta ODF está ubicada en un rack de distribución que facilita la conexión de los hilos de cable feeder con los puertos de la ODF de Planta Interna. Para la conexión de los cables feeder que salgan de una central OLT, estos se armarán de arriba hacia abajo, de acuerdo con la figura

2.5

**Figura 2.5**

*Esquema de ubicación de cables feeder en rack de planta externa.*



*Nota. CNT EP (2017)*

## **2.6. Red feeder o Red troncal**

La red feeder está compuesta por cables de fibra óptica que parten desde la central donde se ubica la OLT y llega hasta el armario de distribución (CNT EP, 2021, p. 8). Se recomienda una alta capacidad cables de red feeder y dependerá de la densidad poblacional y el crecimiento que tendrá el sector. Las capacidades utilizadas para el cable de fibra óptica son de 96, 144 y 288 hilos; y se recomienda instalarlos de manera soterrada. (Pardo, 2021, p. 18).

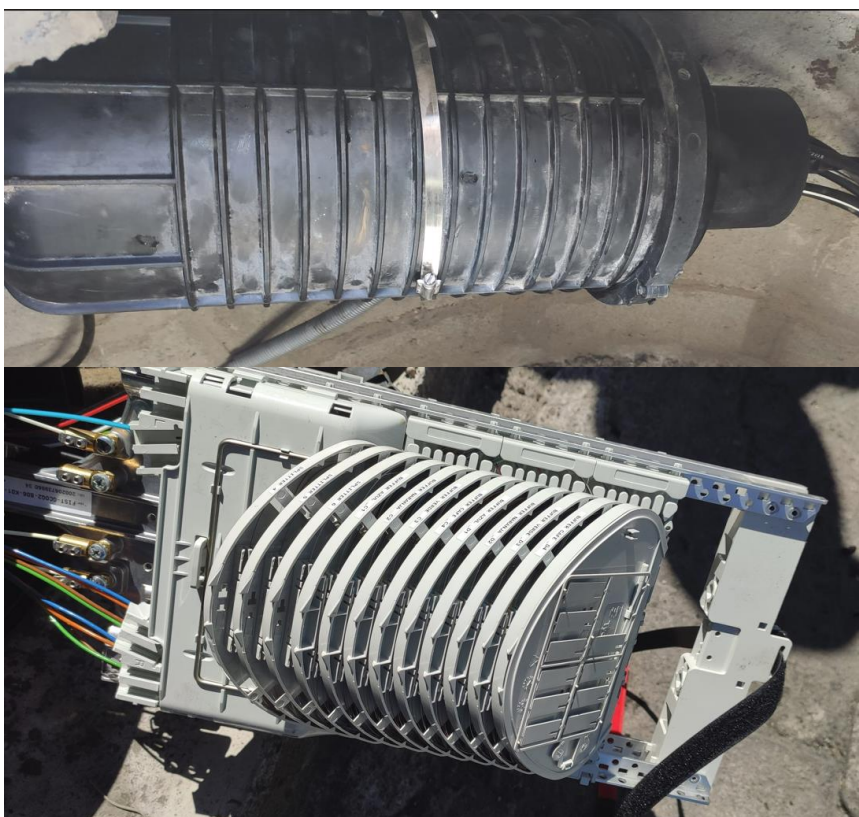
Los elementos que se puede encontrar dentro de la red feeder son: Cable de fibra óptica, mangas de empalme o fusión, armarios o mangas troncales y splitters primarios; a continuación, se detalla cada uno de estos.

### 2.6.1. Manga de empalme o fusión

Estas mangas se emplean para unir cables de fibra óptica, estos elementos son de cierre mecánico y protege a los hilos en su interior de las afectaciones externas; con la posibilidad de acceder a su interior para realizar reparaciones o ampliaciones de red. (CNT EP, 2017, p. 12)

**Figura 2.6**

*Manga de empalme tipo domo*



*Nota. Elaboración propia*

## **2.6.2. Armario o manga troncal**

De acuerdo con la proyección de demanda y características del sector a ser atendido por ODN; se puede encontrar armarios FDH o mangas troncales; con respecto a la normativa de CNT EP, permite la implementación de cualquiera de estos dos elementos como armario o manga troncal, encontrando la diferencia entre estos dos como redes flexibles o rígidas, teniendo diferentes enfoques en la implementación de infraestructura. A continuación, se señalan brevemente las características de cada uno.

### **2.6.2.1. Red flexible**

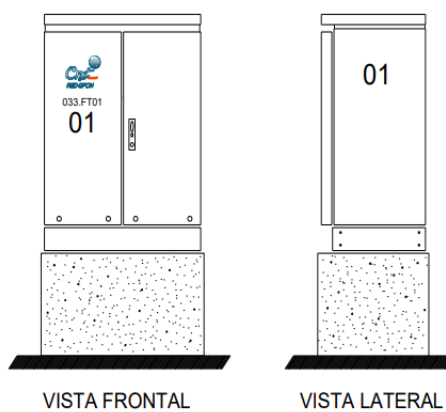
Una red flexible es el tipo de infraestructura que se caracteriza por su capacidad para adaptarse y expandirse fácilmente según las necesidades cambiantes de los usuarios y la demanda de servicios. Para el estudio se conoce a este tipo de redes como FDH (Fiber Distribution Hub) es un elemento pasivo que se utiliza en un modelo de red GPON flexible, desde donde salen los cables de fibra óptica de distribución; en este armario se encuentran splitter primarios conectorizados y permite la organización de los hilos de red feeder como los de distribución (CNT EP, 2017, p.32). En las figuras 2.7 y 2.8 se visualiza las características de un armario GPON FDH.

Una de las ventajas de este tipo de armarios es que permite un acceso más rápido y sencillo a la red para realizar mantenimiento o reparaciones en la red, esto puede reducir el tiempo de inactividad en caso de problemas. Sin embargo, una de sus mayores desventajas es que requiere una mayor capacidad en el despliegue de cable de red de distribución. Actualmente, en la provincia de Pichincha el 8.5% de la red GPON desplegada por la CNT EP. corresponde a este

tipo red flexible y debido a los costos de implementación se dejó construir este tipo de arquitectura desde el año 2018.

### Figura 2.7

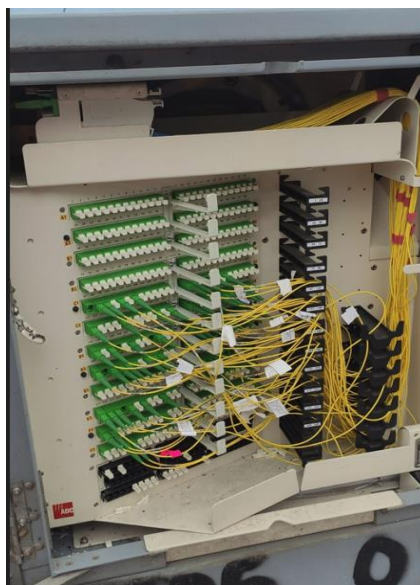
*Vista exterior de armario FDH*



*Nota. CNT EP (2017)*

### Figura 2.8

*Vista interna de armario FDH*



*Nota. Elaboración propia*

### **2.6.2.2. Red rígida**

Este tipo de infraestructura se caracteriza por una estructura estática, este tipo de red generalmente se construye con una topología específica para atender a un número de clientes con la infraestructura desplegada; sin embargo, permite una mayor expansión si en su dimensionamiento se deja la reserva necesaria en las fibras. Para este estudio al tipo de red rígida dentro de la normativa en estudio, se conoce a la manga troncal, el cual es un elemento pasivo de empalme, similar a una manga de fusión. Se utiliza como modelo de red GPON rígido y contiene a los splitters primario en su interior. De igual forma, de aquí salen los cables de fibra óptica de distribución con un primer nivel de splitteo. Actualmente, este tipo de mangas troncales son las que se usan para el despliegue de red FTTH en la CNT EP, debido a su relación de tamaño y costo con los armarios FDH.

La CNT EP. al tener infraestructura de canalización propia en la ciudad de Quito, permite la instalación de las mangas troncales en los pozos existentes, lo que da una gran ventaja con respecto a la protección y durabilidad de la red de fibra óptica al brindar protección a daños físicos, vandalismo y condiciones climáticas adversas. De igual manera al ser subterráneas, este tipo de mangas no afecta al entorno urbano. En la CNT EP. el 91.5% de la red desplegada en Pichincha corresponde a este tipo de redes.

### **2.6.3. Splitters**

El splitter o divisor, es un elemento pasivo de la ODN; el mismo es utilizado en la red feeder y la red de distribución. Es el encargado de dividir o multiplexar los datos provenientes de la OLT hacia los clientes finales (CNT EP, 2021, p. 8).

**Tabla 2.1**

*Tipo de splitter de acuerdo con su modelo y aplicación*

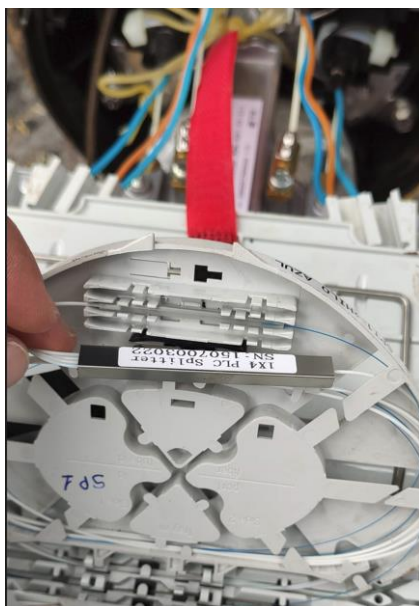
Tipo	Aplicación
Modular	FDH
Conectorizado	FDB, NAP y FDF
Fusionado	Mangas troncales, FDF

*Nota. CNT EP (2017)*

“Estos elementos realizan la división de la señal teniendo uno o dos fibras de ingreso y n fibras de salida; en el mercado se puede encontrar de 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 y dependiendo de su aplicación existen diferentes modelos como modulares, conectorizados o fusionados.” (Pardo, 2021, p. 20). En la tabla 2.1 se muestra los usos que tienen cada tipo:

**Figura 2.9**

*Splitter 1/4 PLC en manga troncal*



*Nota. Elaboración propia*

## 2.7. Red de distribución

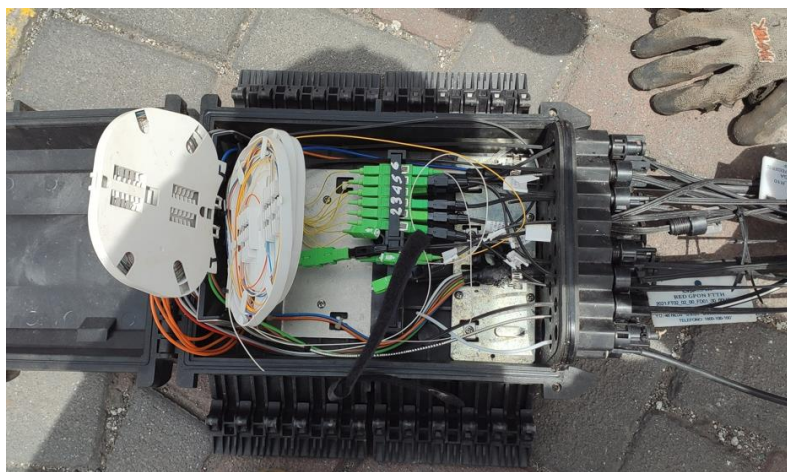
Es aquella que nace desde el armario o manga troncal donde inicia el primer nivel de splitteo y se encuentra conectado con cables de fibra óptica de distribución que puede ser una red aérea o canalizada y alimentan a los diferentes elementos pasivos como son: caja de distribución óptica (NAP), caja de distribución principal (FDB) y caja de distribución secundaria (FDF). (CNT EP, 2017, p. 10). En estas cajas de distribución, dependiendo de la arquitectura de la red, se encuentra el segundo nivel de splitteo y desde aquí inicia la red de dispersión.

### 2.7.1. Caja de distribución (NAP, FDB o FDF)

Es el elemento pasivo de conexión entre la red de distribución y la red de dispersión que serán las acometidas de cada abonado. Estos elementos se encuentran instalados en postes, murales, pozos telefónicos o en mini postes. En la figura 2.10 se indica una NAP canalizada de 16 puertos.

**Figura 2.10**

*Caja de distribución óptica canalizada*



*Nota. Elaboración propia*

## 2.8. Red de dispersión

Este tramo de red está conformado por cable drop de 2 fibras ópticas que puede ser aéreo o canalizado e inicia desde la salida de un puerto de la caja de distribución (NAP) hasta la roseta óptica que está ubicada dentro del domicilio del abonado. (CNT EP, 2021, p. 9).

La Normativa para la instalación de clientes finales en redes FTTH-GPON de la CNT EP, indica que se debe considerar una distancia máxima de 250 metros de recorrido para el cable drop.

### 2.8.1 Roseta óptica

Es un elemento pasivo que se instala en el domicilio del abonado; sirve como medio de transición para conectar el cable drop a la ONT, a través de un patchcord SC/APC. (Pardo, 2021, p. 24)

#### Figura 2.11

*Roseta óptica*



*Fuente: CNT EP (2021)*

### 2.8.2. ONT (Terminal de Red Óptico)

Es un dispositivo activo interconectado al final de la ODN, el cual sirve de interfaz con el cliente. Este equipo transforma las señales ópticas enviadas por la OLT y que recorren toda la ODN a señales eléctricas lo cual ofrece servicios de telefonía e internet. (Pardo, 2021, p. 29).

**Figura 2.12**

*Modelo de terminal de red óptico (ONT)*



*Nota. Cedillo y Nieto (2019)*

### 2.9. Cable de fibra óptica

Un cable de fibra óptica se compone de filamentos que pueden ser de plástico o vidrio, cuyo espesor varía entre 10 y 300 micrones. Dentro de estos filamentos se transmite impulsos lumínicos mediante el principio de reflexión. Uno de los principales beneficios de la fibra óptica es que la señal puede transmitirse a largas distancias sin sufrir una mayor atenuación; de igual manera permite enviar varias señales en distintas frecuencias, posibilitando multiplexar diferentes servicios (Endara, 2021, p. 7).

Los cables de fibra óptica para la red feeder y red de distribución deberán cumplir con la norma ITU-T G.652D.; como indica Pardo (2021), la fibra G652D presenta una menor atenuación entre los rangos de longitud de onda de 1260 y 1625nm. Mientras que los cables de

dispersión cumplirán con la norma ITU-T G.657.A1 o G.657.A2; y para la identificación de los hilos del cable de fibra óptica, estos deberán estar en función de la Norma TIA/EIA 598. (CNT EP, 2017, p. 11).

## 2.10. Atenuación en la red ODN

De acuerdo con la Normativa de CNT, en una red GPON se debe considerar que la atenuación máxima desde la OLT hasta la ONT no supere los 25dB. La incorporación de elementos que atenúan la señal y que son necesarios para el correcto funcionamiento de la red y se convierte en un concepto crítico al momento de la implementación.

Los elementos que aportan con la atenuación de la señal se los evidencia en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2**

*Atenuación típica en los elementos pasivos de una red ODN*

Elemento	Atenuación típica (dB)	
Conectores ITU 671	0.5	
Empalmes de fusión ITU 751	0.1	
Conectores mecánicos ITU 751	0.1	
Conector armado en campo	0.6	
	1x2	3.25
	1x4	6.5
Splitters	1x8	9.75
	1x16	13
	1x32	16.25
	1x64	19.5
Fibras-	1310nm	0.35
Longitudes de onda	1490nm	0.3
	1550nm	0.25

*Nota. CNT EP (2021)*

## **2.11. Software de simulación OptiSystem**

“OptiSystem, es un software de diseño que permite simular casi todos los tipos de enlaces ópticos. Ofrece el diseño y planificación de sistemas de comunicación óptica desde el nivel de componente hasta el de sistema y ayuda a realizar un análisis de escenarios simulados de forma visual.” (OptiWave,2023). Para la presente investigación se plantea simular redes GPON existentes de la CNT EP y verificar los niveles de atenuación aceptables de acuerdo con la normativa vigente.

## CAPÍTULO 3

En el capítulo 3 de este estudio, se detalla la metodología de investigación empleada para abordar la optimización de la red GPON de la empresa CNT EP. Se describen las etapas de cálculo de la muestra, la selección de los distritos de estudio y la realización de simulaciones de la red GPON. Este proceso es esencial para la recopilación de datos y el análisis de los resultados, lo que permitirá tomar decisiones fundamentadas en el proceso de optimización de la red.

### 3.1. Metodología

El proyecto de investigación permitirá llegar hasta la aplicación de la propuesta, mediante un cuasi experimento que busca simular una red de distribución de fibra óptica bajo estándares ITU y normativa de CNT con nivel de splitteo 1:128 para determinar la satisfacción del servicio brindado. Se continúa con el segundo objetivo, que trata sobre la recopilación de mediciones de presupuesto óptico para detectar la variación que puede tener las pérdidas en la red óptica; para lo cual se propone recopilar las mediciones realizadas por personal de la CNT al momento que se construye una red FTTH, con esta información se identificará las variaciones que tiene la señal en la red que permitirá recolectar información del estado actual. Mediante la simulación de dos distritos de red FTTH existentes, para lo cual se propone que la distancia de la red feeder del primer distrito sea menor a un kilómetro y la distancia de la red feeder del segundo distrito sea mayor a cuatro kilómetros; con el fin de poder realizar un análisis comparativo de la afectación de los elementos pasivos de la red y la arquitectura del estado actual que permita comparar las pruebas de calidad solicitadas por la CNT EP y los resultados obtenidos en la simulación; con esto se completa el capítulo tres. Por último, para el cumplimiento del cuarto objetivo específico,

se realizará una simulación con el cambio de splitteo a 1:128 mediante el software Optisystem, que permitirá obtener resultados del valor BER y potencia en cada puerto de las cajas de distribución; y si los resultados son los esperados se podrá inferir una actualización de la normativa en CNT EP para el diseño de la red GPON que permita el uso del nivel de splitteo 1:128.

### 3.2. Cálculo de la muestra

Para mayo de 2023, la CNT EP tiene desplegado un total de 29877 cajas de red GPON para servicio masivo en la ciudad de Quito. (OpenFlexis, 2023). Con este número de caja, se tiene una red desplegada para 239.016 posibles abonados. Estas cajas se encuentran a una distancia variable entre 200 metros y 10 kilómetros con respecto a la central OLT, debido al nivel de splitteo actual. Por lo tanto, la muestra será aleatoria considerando las variables cuantitativas de la investigación que son, potencia recibida en los puertos de salida de cada caja GPON, pérdida de bits, la distancia recorrida de la fibra y ocupación de la red.

Con esta información se plantea un muestreo aleatorio simple que permite obtener la estimación de datos globales finitos. Por lo tanto, el tamaño de la muestra para el presente estudio se obtiene mediante la ecuación 1.

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

“Donde:

n= Tamaño de muestra

N= El tamaño del universo de estudio

p= Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

q= Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

e= Error aceptable de la muestra

Z= Valor obtenido mediante niveles de confianza” (Endara, 2021).

$$n = \frac{1.96^2 * 239016 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (239016 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 384 \quad (2)$$

De acuerdo con la ecuación planteada, el total de muestras mínimas para realizar una evaluación mediante simulación para la presente investigación es de 384 pruebas de potencia en los puertos de salida de las 29877 cajas desplegadas en la ciudad de Quito.

### 3.3. Selección de Distritos

En el capítulo 2 se analizaron los conceptos de los modelos FTTH que la CNT EP tiene desplegada en la ciudad de Quito y se evidenció las diferencias que existe entre el modelo rígido o flexible. Cuando se empezó la migración de la red de cobre a GPON en el año 2014, el modelo utilizado fue el flexible; sin embargo, este modelo al momento del despliegue presentaba un mayor costo de inversión y se requería de permisos municipales para ubicar el armario FDH en la acera. Por lo cual, desde el año 2018 hasta la fecha, se despliega mediante el modelo de red rígida con la primicia de abaratar costos, dar una óptima utilización a los hilos de fibra en los cables y el correspondiente uso de puertos (Pardo, 2021). Con base en esto se selecciona los siguientes distritos mostrados en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1**

*Distritos seleccionados para análisis de cambio de nivel de splitteo*

Distrito	Distancia red feeder (Km)	Nivel de splitteo	Cajas
2022.F02M22	7	1/32	22
2451.F01M01	5	1/64	26
2012.F04M07	3	1/64	13
2206.F03M04	2	1/64	24

*Nota. Distritos de acuerdo con su codificación por central y feeder. Elaboración propia*

Cada uno de los distritos pertenecen a diferentes zonas de la ciudad de Quito como Pomasqui (2022), Guayllabamba (2451), La Florida (2012) y Zabala (2206) y los cuales se puede obtener la información de las pruebas realizadas en cada uno de los puertos de salida de las cajas GPON al momento de recibir la red por parte de la CNT.

Una vez determinado los distritos con los que se desarrolla la investigación, es importante analizar la velocidad de internet fijo promedio que en la actualidad es requerido en el mercado ecuatoriano. Según el Ministerio de Telecomunicaciones, para el año 2018, “el país tiene una velocidad promedio de descarga de internet fijo de 14.58Mbps”. Cisco en el año 2018 realiza una estimación del crecimiento de velocidad de internet fijo a nivel global en el lapso de años 2017-2022, estimando para América Latina un crecimiento en la velocidad de un 19%, como se evidencia en la tabla 3.2. De acuerdo con este crecimiento se deduce que la velocidad promedio requerida por usuario es de 33.44Mbps de velocidad de descarga.

**Tabla 3.2**

*Crecimiento de velocidad de descarga de internet fijo en el mundo*

Región	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Global	39	45.9	52.9	60.4	67.9	75.4
Asia	46.2	62.8	79.4	87.5	92.7	98.8

América Latina	11.7	15.7	19.7	22	25	28.1
América del Norte	43.2	56.6	70.1	79.6	87.9	94.2
Europa Occidental	37.9	45.6	53.2	60.8	68.4	76

*Nota: Valores en Mbps por región. Tabla tomada de Cisco Annual Internet Report 2018–2023*

Ahora se realiza la comprobación de la velocidad que se puede ofrecer a los clientes residenciales con el nivel de splitteo en cada uno de los distritos y la velocidad que se tendría con la propuesta de esta investigación

Comprobación nivel de splitteo 1:32, para el distrito 2022.FT02MT22

$$33.44Mbps \leq \frac{2500 Mbps}{32} \quad (3)$$

$$33.44Mbps \leq 78.13Mbps, \text{ cumple} \quad (4)$$

Comprobación nivel de splitteo 1:64, para todos los distritos

$$33.44Mbps \leq \frac{2500 Mbps}{64} \quad (5)$$

$$33.44Mbps \leq 39.06Mbps, \text{ cumple}$$

Comprobación nivel de splitteo 1:128, propuesta de investigación

$$33.44Mbps \leq \frac{2500 Mbps}{128} \quad (6)$$

$$33.44Mbps \leq 19.53 Mbps, \text{ no cumple} \quad (7)$$

De acuerdo con este cálculo, no sería posible la propuesta de investigación en el caso de tener una ocupación del 100% de la red desplegada, ya que no se brinda la velocidad óptima de

banda ancha a cada abonado. Sin embargo, la ocupación promedio para el año 2023 de la red GPON existente de la CNT en la ciudad de Quito es del 46.80%, esto quiere decir que no se está ocupando la mitad de la red habilitada en la ciudad (CNT EP, 2023). Por lo tanto, una de las limitantes para realizar el cambio de nivel de spliteo a 1:128 será la ocupación de la red existe ya que de esto dependerá la velocidad de navegación que se puede brindar a cada uno de los abonados.

**Tabla 3.3**

*Porcentaje de ocupación de la red.*

	Distrito		% de ocupación del distrito	% de ocupación del distribuidor	Cajas
	Pomasqui	2022.F02M22	43.18%	37.51%	22
	Guayllabamba	2451.F01M09	47.12%	42.31%	26
	La Florida	2012.F04M07	35.58%	24.73%	13
	Zabala	2206.F03M04	84.93%	65.46%	24

*Nota: Ocupación de distrito y distribuidores seleccionados en el estudio para el mes de mayo de 2023. Tomado de OpenFlexis (2023)*

Una vez identificada la velocidad de banda ancha, es importante identificar la ocupación que tiene cada distrito seleccionado para la investigación, como se indica en la tabla 3.3.

Con los datos descritos previamente, se puede analizar cada uno de los distritos en estudio y así verificar en el caso de ser factible, realizar el cambio de nivel de splitteo. Como se aprecia existen varios factores que influyen al tomar esta decisión, como lo son; atenuación por distancia de fibra desde la OLT hasta el abonado, pérdidas por conectores o fusiones necesarias en la ODN y la velocidad de navegación que se puede brindar según la ocupación que tenga cada puerto de acuerdo con su división que puede ser 1:32, 1:64 o 1:128.

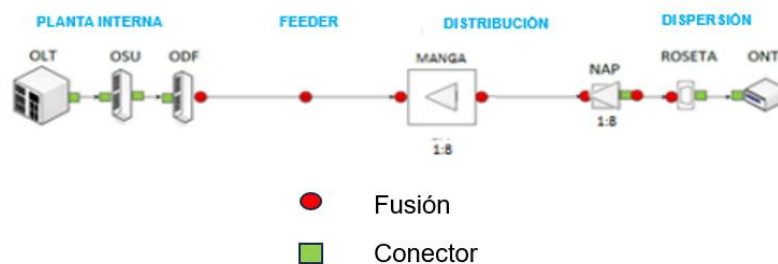
### 3.4. Análisis de distritos

De acuerdo con lo indicado en la sección 3.3, en primer lugar, se analiza los elementos que componen en la red ODN en la red desplegada por la CNT EP; para continuar con el cálculo teórico del presupuesto óptico según las pérdidas correspondientes en cada uno de los cuatro distritos a estudiar. De igual manera, gracias a información proporcionada por la Jefatura de Accesos de la CNT EP, mediante un acuerdo de confidencialidad para esta investigación; se puede obtener la distancia recorrida de la fibra desde la central hasta cada una de las cajas de distribución, como también las pruebas de potencia realizadas en los puertos de las NAPS.

En estos planos se indica, la cantidad de reservas en poste o pozo, subidas a poste y existencia de mangas de fusión que componen la ODN de cada uno de los distritos.

**Figura 3.1**

*Elementos que componen la red ODN.*



*Nota. CNT EP (2012)*

En la figura 3.1, se indica los elementos que componen la red ODN de la CNT EP, con la presencia de posible conectores o fusiones en recorrido de la fibra.

Ahora, con relación a la atenuación que se en el recorrido, se presenta el presupuesto óptico teórico y se compara con la medición en campo de las NAPS. Este valor está

correlacionado a la longitud de onda en que se trabaje, la distancia de la fibra, fusiones y conectores necesarios para su correcto funcionamiento. El valor teórico se obtiene de acuerdo con los valores presentados en la tabla 2.2, e indicados en el capítulo 2. Para la presente investigación, los valores indicados en cada distrito son considerados hasta el puerto de salida de las NAPs. De igual forma, para la investigación se obtienen los resultados medidos en campo de la potencia promedio en cada uno los puertos de las NAPs; tomando en cuenta la potencia de salida desde el rack de planta externa, según Huerta (2023), en promedio para todas las centrales GPON de la CNT EP es de 3dB.

A continuación, se realiza un análisis de la ubicación de cada uno de los distritos con los elementos que lo componen.

#### **3.4.1. Distrito 2022.F02M22**

El Nodo Pomasqui, perteneciente a la zona integral 6, de acuerdo con la distribución de zonas técnicas realizada por la CNT EP. Fue construida para atender a los usuarios de la parroquia de Pomasqui y sus alrededores. En primera instancia, su operación fue solamente con red de cobre; sin embargo, como ya se mencionó en el capítulo uno, el requerimiento de una mayor velocidad de navegación por parte de los usuarios hizo indispensable la instalación de una OLT en el Nodo, permitiendo la realización de proyectos con tecnología GPON.

### Figura 3.2

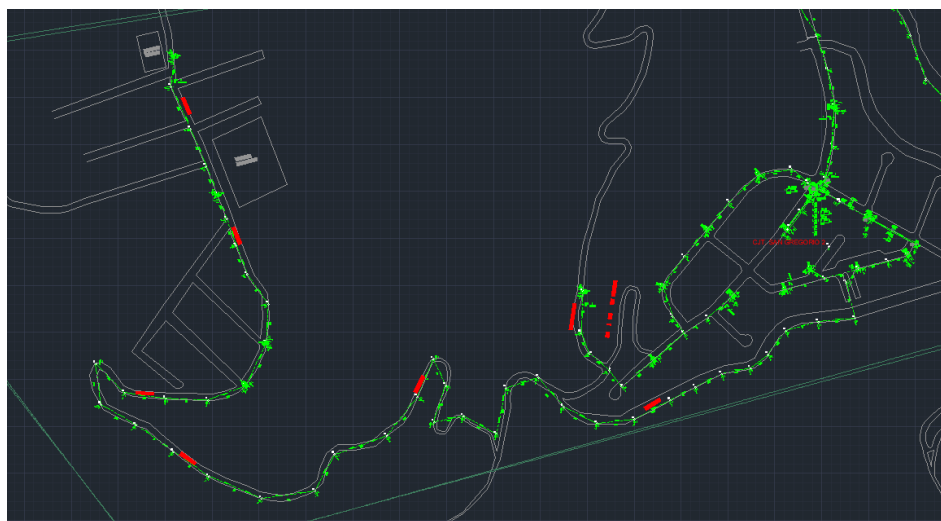
*Ubicación distrito 2020.F02M22.*



*Nota. Google Maps (2023)*

### Figura 3.3

*Red de distribución del distrito 2022.F02M22.*



*Nota. CNT EP (2023)*

Actualmente, la OLT de Pomasqui que está registrada con el código 2022 en la CNT EP; cuenta con 64 distritos que atienden toda la parroquia y sus alrededores. Para esta investigación el distrito seleccionado es el que a mayor distancia de la central OLT se encuentra. En la figura

3.2 se muestra la ubicación del distrito con respecto a la central y en la figura 3.3 se indica la distribución del distrito.

El distrito seleccionado cuenta con 22 cajas de distribución, cada una de estas puede atender a 8 clientes y como se indica en la tabla 3.3, su ocupación es del 43.18%; esto quiere decir que solamente se está atendiendo a 76 usuarios de los 176 habilitados. Cabe indicar, que este distrito se encuentra con un nivel de splitteo 1/32, partiendo con el splitter primario en la manga 1/4 y splitters secundarios en cada caja 1/8.

Con la información de planos “As-Built”; para este distrito, se evidencia que la caja más lejana A1 se encuentra a 9.183Km y la más cercana F2 a 7.126Km. En la tabla 3.4, se indica la distancia correspondiente de cada NAP, considerado desde el rack de planta externa.

**Tabla 3.4**

*Distancia recorrida por caja de distribución para el distrito 2022.F02M22.*

CÓDIGO OLT	DISTRITO	CAJA	DISTANCIA RED DISTRIBUCIÓN (KM)	DISTANCIA RED FEEDER (KM)	DISTANCIA TOTAL (KM)
		A1	2.158		9.183
		A2	1.983		9.008
		A3	1.788		8.813
		A4	1.734		8.759
		B1	0.444		7.469
		B2	0.363		7.388
		B3	0.293		7.318
2022	F02M22	B4	0.229	7.025	7.254
		C1	0.229		7.254
		C2	0.138		7.163
		C3	0.138		7.163
		C4	0.681		7.706
		D1	0.681		7.706
		D2	0.744		7.769
		D3	0.559		7.584

D4	0.447	7.472
E1	0.362	7.387
E2	0.266	7.291
E3	0.292	7.317
E4	0.292	7.317
F1	0.101	7.126
F2	0.101	7.126

*Nota. Elaboración propia*

Ahora, con relación a la atenuación del recorrido, se presenta el presupuesto óptico teórico para el nivel de splitteo actual y de igual manera se calcula el presupuesto óptico de la propuesta de investigación; se compara con la medición en campo de las NAPs. Como se evidencia en la tabla 3.5, este valor esta correlacionado a la longitud de onda en que se trabaje, la distancia de la fibra, fusiones y conectores necesarios para su correcto funcionamiento. Cabe mencionar; que, para la presente investigación, los valores indicados son considerados hasta el puerto de salida de las NAPs; para esto, la normativa de CNT EP solicita que la atenuación máxima no sobrepase los 25dB, y tomando en cuenta la norma ITU-T G.984.2, indica que el enlace óptico hasta el abonado no sobrepase los 28dB de pérdida.

**Tabla 3.5**

*Atenuación de la onda de acuerdo con el cálculo teórico para nivel de splitteo 1:32, 1:128 y la medición en campo con OTDR para el distrito 2022.F02M22.*

Código OLT	Distrito	Caja	Presupuesto óptico: 1/32 $\lambda$ :1310nm (dB)	Atenuación del recorrido: 1/32 $\lambda$ :1310nm (dB)	Presupuesto óptico: 1/128 $\lambda$ :1310nm (dB)
2022	F02M22	A1	22.56	19.82	29.06
		A2	22.50	20.33	29.00
		A3	22.43	20.27	28.93
		A4	22.42	19.52	28.92
		B1	21.96	19.63	28.46
		B2	21.94	19.51	28.44
		B3	21.91	19.46	28.41
		B4	21.89	19.20	28.39

---

C1	21.89	19.31	28.39
C2	21.96	19.76	28.46
C3	21.96	19.51	28.46
C4	22.15	19.48	28.65
D1	22.05	20.11	28.55
D2	22.17	20.28	28.67
D3	22.00	19.91	28.50
D4	21.96	19.93	28.46
E1	21.94	18.92	28.44
E2	21.90	18.92	28.40
E3	22.01	20.16	28.51
E4	21.91	19.38	28.41
F1	21.85	19.39	28.35
F2	21.85	19.39	28.35

---

*Nota. Elaboración propia*

### **3.4.2. Distrito 2451.F01M09**

Actualmente, la OLT de Guayllabamba, se encuentra registrada con el código 2451 en la CNT EP; cuenta con 9 distritos que atienden esta zona. Para esta investigación el distrito seleccionado es el que a menor distancia de la central OLT se encuentra. En la figura 3.4 se muestra la ubicación del distrito con respecto a la central y en la figura 3.5 se indica la distribución de sus cajas para la atención a los abonados.

### Figura 3.4

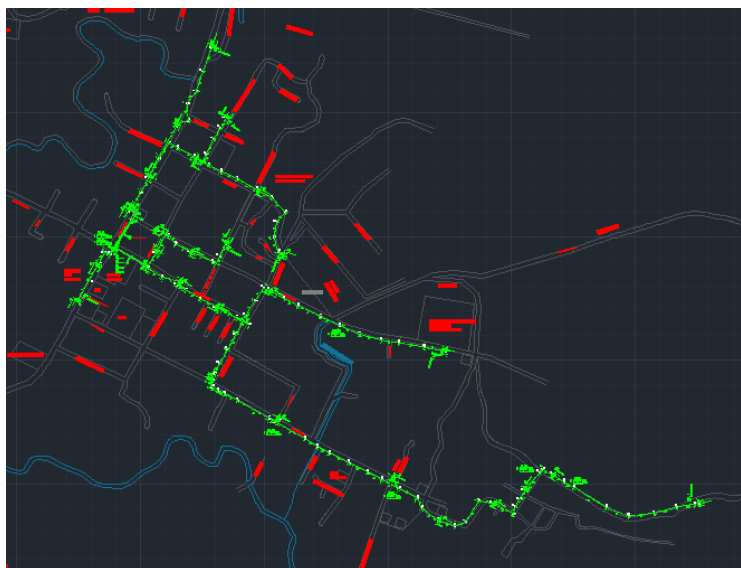
*Ubicación de distrito 2451.F01M09.*



*Nota. Google Maps (2023)*

### Figura 3.5

*Red de distribución del distrito 2451.F01M09.*



*Nota. CNT EP (2023)*

Para la fecha de levantamiento de información de esta investigación, el distrito seleccionado cuenta con 26 cajas de distribución, cada una de estas puede atender a 8 clientes y como se indica en la tabla 3.3, su ocupación es del 47.18%; esto quiere decir que solamente se

está atendiendo a 98 usuarios de los 208 habilitados. Este distrito cuenta con un primer nivel de splitteo de 1/8 en la manga troncal y su segundo nivel de splitteo es de 1/8 cada caja.

**Tabla 3.6**

*Distancia recorrida por caja de distribución para el distrito 2451.F01M09.*

Código OLT	Distrito	Caja	Distancia red distribución (KM)	Distancia red feeder (KM)	Distancia total (KM)
		A1	2.112		2.357
		A2	1.762		2.007
		A3	1.664		1.909
		A4	1.542		1.787
		B1	1.388		1.633
		B2	1.234		1.479
		B3	0.888		1.133
		B4	0.686		0.931
		C1	1.033		1.278
		C2	0.626		0.871
		C3	0.440		0.685
		C4	0.318		0.563
2451	F01M09	D1	0.479	0.245	0.724
		D2	0.362		0.607
		D3	0.260		0.505
		D4	0.191		0.436
		E1	0.769		1.014
		E2	0.579		0.824
		E3	0.558		0.803
		E4	0.419		0.664
		F1	0.605		0.850
		F2	0.398		0.643
		F3	0.261		0.506
		F4	0.456		0.701
		G1	0.360		0.605
		G2	0.164		0.409

*Nota. Elaboración propia*

En la tabla 3.6, se indica la distancia correspondiente de cada NAP, considerado desde el rack de planta externa. Como se evidencia, la caja más lejana A1 se encuentra a 2.357km y la NAP más cercana G2 a la OLT se encuentra a 0.409km.

**Tabla 3.7**

*Atenuación de la onda de acuerdo con el cálculo teórico para nivel de splitteo 1:64, 1:128 y medición en campo para el distrito 2451.F01M09.*

Código OLT	Distrito	Caja	Presupuest o óptico: 1/64 $\lambda$ :1310nm (dB)	Atenuación del recorrido: 1/64 $\lambda$ :1310nm (dB)	Presupuesto óptico: 1/128 $\lambda$ :1310nm (dB)
		A1	23.426	20.980	26.676
		A2	23.304	20.800	26.554
		A3	23.269	21.400	26.519
		A4	23.227	20.990	26.477
		B1	23.171	20.840	26.421
		B2	23.118	20.380	26.368
		B3	22.996	20.600	26.246
		B4	22.926	20.050	26.176
		C1	23.148	20.340	26.398
		C2	23.005	19.910	26.255
		C3	22.842	20.600	26.092
		C4	22.796	20.040	26.046
2451	F01M09	D1	22.852	19.890	26.102
		D2	22.914	19.980	26.164
		D3	22.879	19.830	26.129
		D4	22.754	20.020	26.004
		E1	22.954	19.950	26.204
		E2	22.887	19.920	26.137
		E3	22.980	19.920	26.230
		E4	22.831	20.250	26.081
		F1	22.998	19.550	26.248
		F2	22.924	19.600	26.174
		F3	22.779	19.960	26.029
		F4	22.945	20.160	26.195
		G1	22.914	20.170	26.164
		G2	22.744	20.210	25.994

*Nota. Elaboración propia*

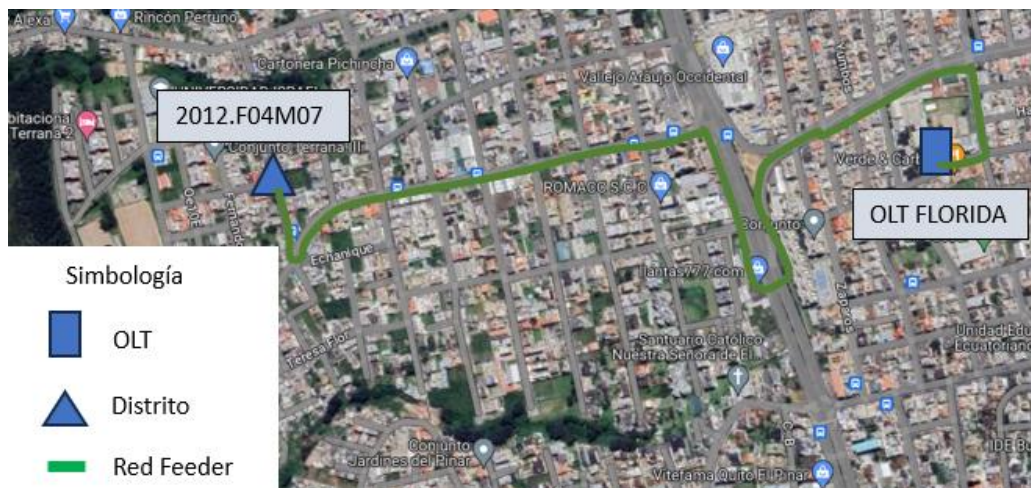
De acuerdo con la atenuación que presenta el recorrido de la fibra, en la tabla 3.7 se presenta el presupuesto óptico teórico para el nivel de splitteo actual y el de la propuesta de investigación; como también, se muestra el valor medido en campo con un OTDR.

### 3.4.3. Distrito 2012.F04M07

El siguiente distrito en análisis pertenece a la zona 4, de acuerdo con la distribución de atención de la CNT EP. La central se encuentra ubicada en el segundo piso del edificio del barrio La Florida, en las calles Fernando Dávalos y Machala. La OLT de la Florida, se encuentra registrado con el código 2012; cuenta con 96 distritos que atienden los barrios noroccidentales de la capital.

**Figura 3.6**

*Ubicación distrito 2012.F04M07.*



*Nota. Google Maps (2023)*

**Figura 3.7**

*Red de distribución del distrito 2012.F04M07.*



*Nota. CNT EP (2023)*

En la figura 3.6 se indica la ubicación de la central y el distrito en estudio con su recorrido de fibra y en la figura 3.7 se puede apreciar la distribución de NAPs.

El distribuidor de la Florida es el de menor porcentaje de ocupación que se analiza en esta investigación, como indica la tabla 3.3, la ocupación para los 96 distritos que lo componen es de apenas el 24.73% y del distrito en análisis es de 35.58%. Adicionalmente, como indica la tabla 3.1 cuenta con 13 cajas de distribución y un nivel de splitteo de 1:64, divididos con un splitter primario en manga de 1:8 y los splitters secundarios de 1:8, ubicados en cada una de las cajas de distribución.

**Tabla 3.8**

*Distancia recorrida por caja de distribución para el distrito 2451.F01M09.*

Código OLT	Distrito	Caja	Distancia red distribución (KM)	Distancia red feeder (KM)	Distancia total (KM)
2012	F04M07	A1	0.573	2.636	3.209
		A2	0.440		3.076
		A3	0.339		2.975
		A4	0.493		3.128
		B1	0.404		3.039
		B2	0.297		2.933
		B3	0.510		3.146
		B4	0.388		3.023
		C1	0.292		2.927
		C2	0.185		2.821
		C3	0.304		2.939
		C4	0.271		2.906
		D1	0.159		2.795

*Nota. Elaboración propia*

En la tabla 3.8, se indica la distancia correspondiente de cada NAP, considerado desde el rack de planta externa. Como se evidencia, la caja más lejana A1 se encuentra a 3.209km y la NAP más cercana D1 a la OLT se encuentra a 2.795km.

**Tabla 3.9**

*Atenuación de la onda de acuerdo con el cálculo teórico para nivel de splitteo 1:64, 1:128 y medición en campo para el distrito 2012.F04M07.*

Código OLT	Distrito	Caja	Presupuesto óptico: 1/64 $\lambda$ :1310nm (dB)	Atenuación del recorrido: 1/64 $\lambda$ :1310nm (dB)	Presupuesto óptico: 1/128 $\lambda$ :1310nm (dB)
2012	F04M07	A1	23.724	21.210	26.974
		A2	23.678	21.530	26.928
		A3	23.640	21.700	26.890
		A4	23.796	21.250	27.046
		B1	23.864	21.250	27.114

B2	23.726	21.790	26.976
B3	23.803	21.310	27.053
B4	23.757	21.540	27.007
C1	23.726	21.740	26.976
C2	23.587	21.420	26.837
C3	23.629	20.950	26.879
C4	23.619	21.200	26.869
D1	23.577	21.280	26.827

*Nota. Elaboración propia*

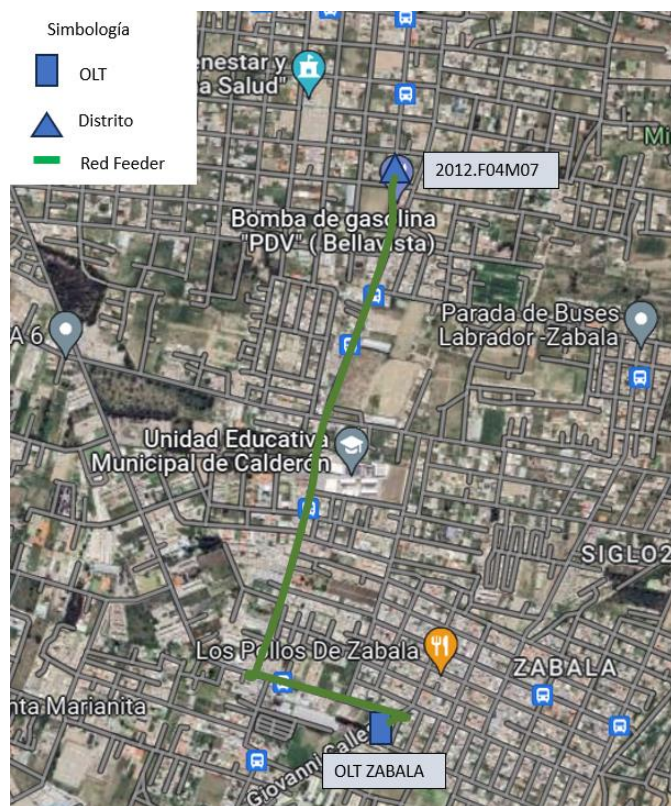
En la tabla 3.9, se presenta la atenuación teórica que presenta la onda para el ancho de banda de 1310nm para niveles de splitteo de 1:64 y 1:128; de igual manera, se indica la atenuación total que fue medida en campo.

#### **3.4.4. Distrito 2206.F03M04**

Para el último distrito en análisis, que pertenece a la zona 5 de distribución de atención de la CNT EP. El distrito atiende al barrio Bellavista de Calderón y la central GPON se encuentra en el barrio de Zabala, en las calles Giovanni Calles y De Los Colibríes. La OLT de Zabala está registrada con el código 2206; actualmente cuenta con 28 distritos que atiende el sector de Calderón.

**Figura 3.8**

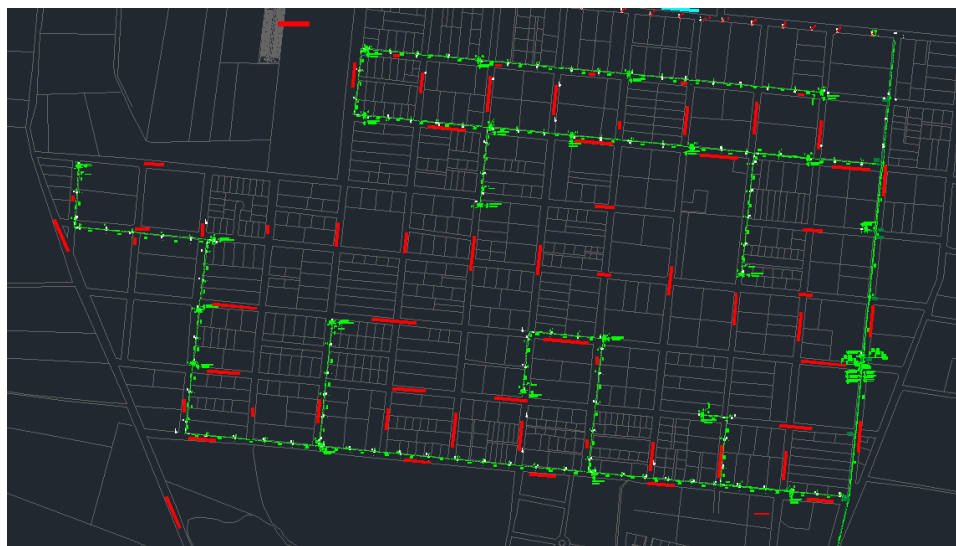
*Ubicación distrito 2206.F03M04.*



*Nota. Google Maps (2023)*

**Figura 3.9**

*Red de distribución del distrito 2206.F03M04.*



*Nota. Elaboración propia*

En la figura 3.8 se muestra la ubicación de la central y el distrito en estudio con su recorrido de fibra y en la figura 3.9 se puede apreciar la red de distribución y ubicación de NAPs en postes.

La central GPON de Zabala es la de mayor porcentaje de ocupación que se analiza en esta investigación, como se indica en la tabla 3.3, para los 28 distritos se tiene una ocupación promedio de 65.46% y del distrito en análisis, la ocupación es del 84.93%. Este distrito cuenta con 24 cajas y su nivel de splitteo es de 1:64 divididos con un splitter primario en manga de 1/8 y los splitters secundarios de 1/8, ubicados en cada una de las cajas de distribución.

**Tabla 3.10**

*Distancia recorrida por caja de distribución para el distrito 2206.F03M04.*

Código OLT	Distrito	Caja	Distancia red distribución (KM)	Distancia red feeder (KM)	Distancia total (KM)
2206	F03M04	E1	1.903	2.288	4.190
		E2	1.602		3.890
		E3	1.479		3.767
		E4	1.399		3.687
		F1	1.284		3.571
		F2	1.088		3.376
		F3	1.105		3.393
		F4	0.888		3.176
		G1	0.682		2.970
		G2	0.623		2.910
		G3	0.371		2.658
		G4	0.070		2.358
		H1	2.074		4.361
		H2	1.752		4.040
		H3	1.535		3.823
		H4	1.350		3.638
I1	1.206	3.494			
I2	1.154	3.442			
I3	1.021	3.309			

I4	0.899	3.187
J1	0.713	3.001
J2	0.797	3.085
J3	0.549	2.837
J4	0.280	2.568

*Nota. Elaboración propia*

En la tabla 3.10, se indica la distancia correspondiente de cada NAP, considerado desde el rack de planta externa. Como se evidencia, la caja más lejana H1 se encuentra a 4.361km y la NAP más cercana G4 a la OLT se encuentra a 2.358km.

**Tabla 3.11**

*Atenuación de la onda de acuerdo con el cálculo teórico para nivel de splitteo 1:64, 1:128 y medición en campo para el distrito 2206.F03M04.*

Código OLT	Distrito	Caja	Presupuesto óptico: 1/64 $\lambda$ :1310nm (dB)	Atenuación del recorrido: 1/64 $\lambda$ :1310nm (dB)	Presupuesto óptico: 1/128 $\lambda$ :1310nm (dB)
		E1	23.967	21.410	27.217
		E2	23.862	21.270	27.112
		E3	23.820	21.220	27.070
		E4	23.792	20.930	27.042
		F1	23.850	21.600	27.100
		F2	23.683	21.140	26.933
		F3	23.787	20.630	27.037
		F4	23.713	20.740	26.963
		G1	23.540	20.720	26.790
		G2	23.619	21.060	26.869
2206	F03M04	G3	23.431	21.440	26.681
		G4	23.326	20.800	26.576
		H1	24.026	21.130	27.276
		H2	24.026	21.130	27.276
		H3	24.026	21.130	27.276
		H4	24.026	21.130	27.276
		I1	24.026	21.130	27.276
		I2	24.026	21.130	27.276
		I3	24.026	21.130	27.276
		I4	24.026	21.130	27.276
		J1	24.026	21.130	27.276

J2	24.026	21.130	27.276
J3	24.026	21.130	27.276
J4	24.026	21.130	27.276

*Nota. Elaboración propia*

En la tabla 3.11, se presenta la atenuación teórica que presenta la onda para el ancho de banda de 1310nm para niveles de splitteo de 1:64 y 1:128; de igual manera, se indica la atenuación total que fue medida en campo, para este distrito

### **3.5. Simulación de la red GPON existente**

Para este caso se toma como referencia los datos obtenidos en la recopilación bibliográfica y serán puestos como valores de entrada en la simulación, los resultados se comparan con el estándar ITU-T G-984. En las simulaciones de los cuatro distritos, se considera la potencia de salida de transmisor, distancia de red feeder, primer nivel de splitteo 1:8, distancia de red de distribución y segundo nivel de splitteo 1:8.

Como consideración y para tener valores comparables con los recopilados en el levantamiento en campo, los datos serán evaluados en el puerto de salida de del segundo nivel de splitteo y a una frecuencia de 1490nm, en la cual trabaja en el downstream. En la figura 3.10 se muestra la construcción de la simulación con nivel de splitteo 1:64.

Los resultados que se presentan a continuación representan el factor Q de calidad de servicio, BER o tasa de error de bir y el diagrama del ojo de las NAP lejana y cercana con respecto a la OLT. Según Manjarres (2017), el factor Q muestra el comportamiento del sistema a través de la atenuación, ruidos y efectos lineales y no lineales. Este parámetro se lo evidencia como BER, y la recomendación ITU-T G984.2 indica que este valor debe ser menor a  $1e-10$ , lo que representa la relación de bits recibidos y bits erróneos.

También se verifica la potencia recibida en los puertos la NAP más lejana y cercana la cual deberá ser mayor a  $-25\text{dBm}$ , cuyo límite lo indica la normativa vigente de CNT EP.

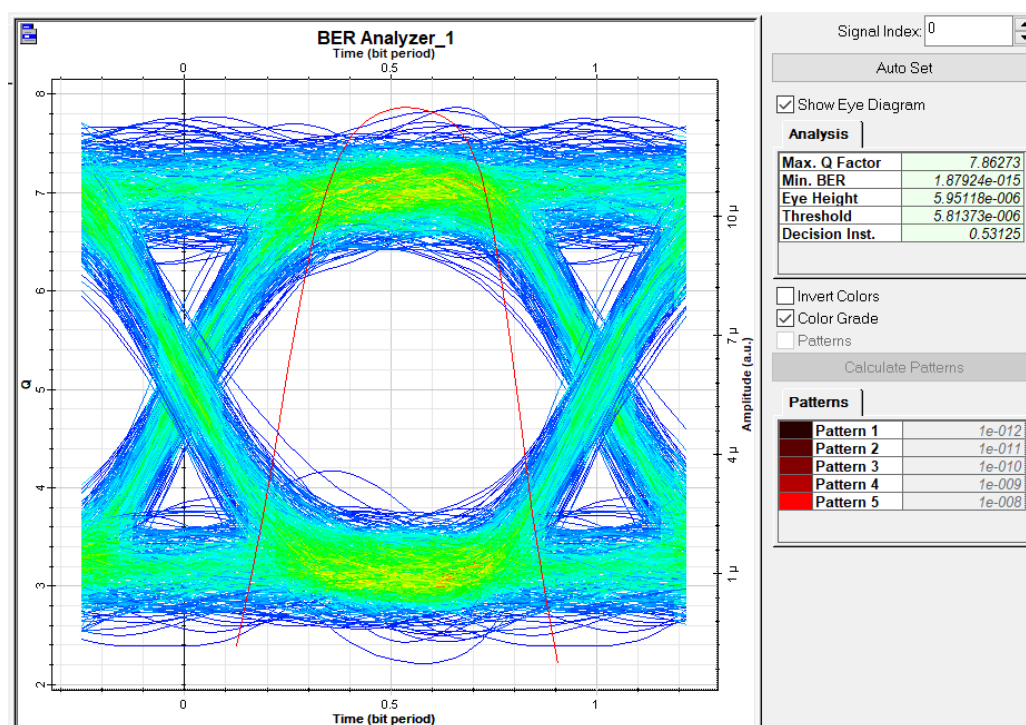


### 3.5.1. Resultados obtenidos de la simulación de la red GPON con nivel de splitteo 1:64

De acuerdo con los parámetros obtenidos de la investigación, se realiza la simulación con nivel de splitteo 1:64, obteniendo los siguientes que se muestran a continuación, en todos los casos se presentará los resultados de la caja más cercana y lejana de la central GPON.

**Figura 3.11**

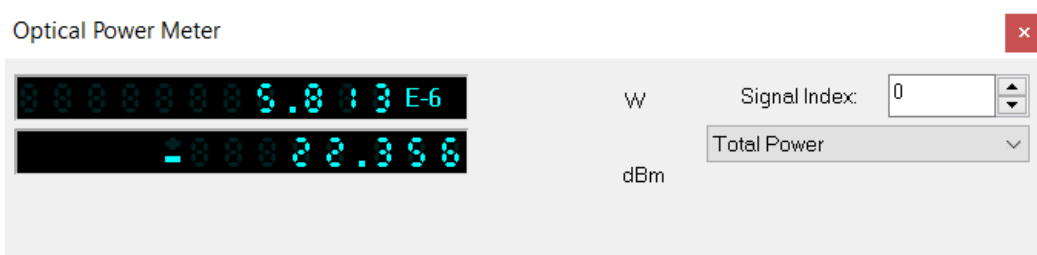
*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja A1 del distrito 2022.F02M22*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.12**

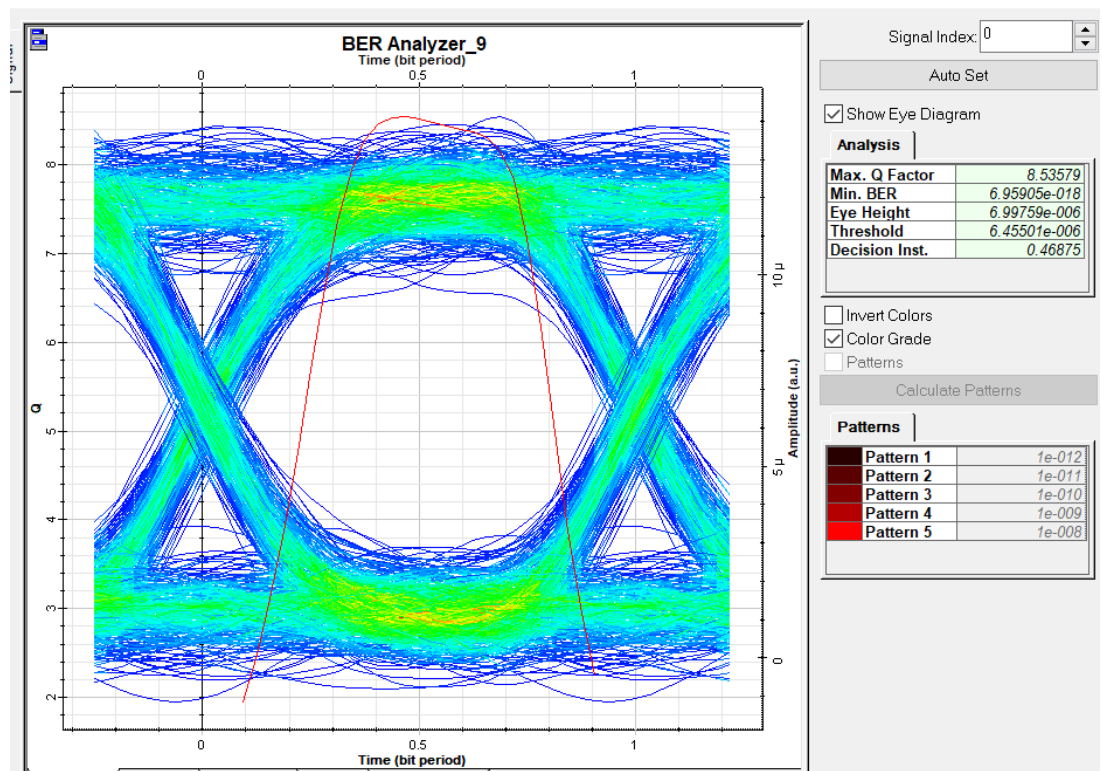
*Potencia de salida en la caja A1 del distrito 2022.F02M22.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.13**

*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja F2 del distrito 2022.F02M22.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.14**

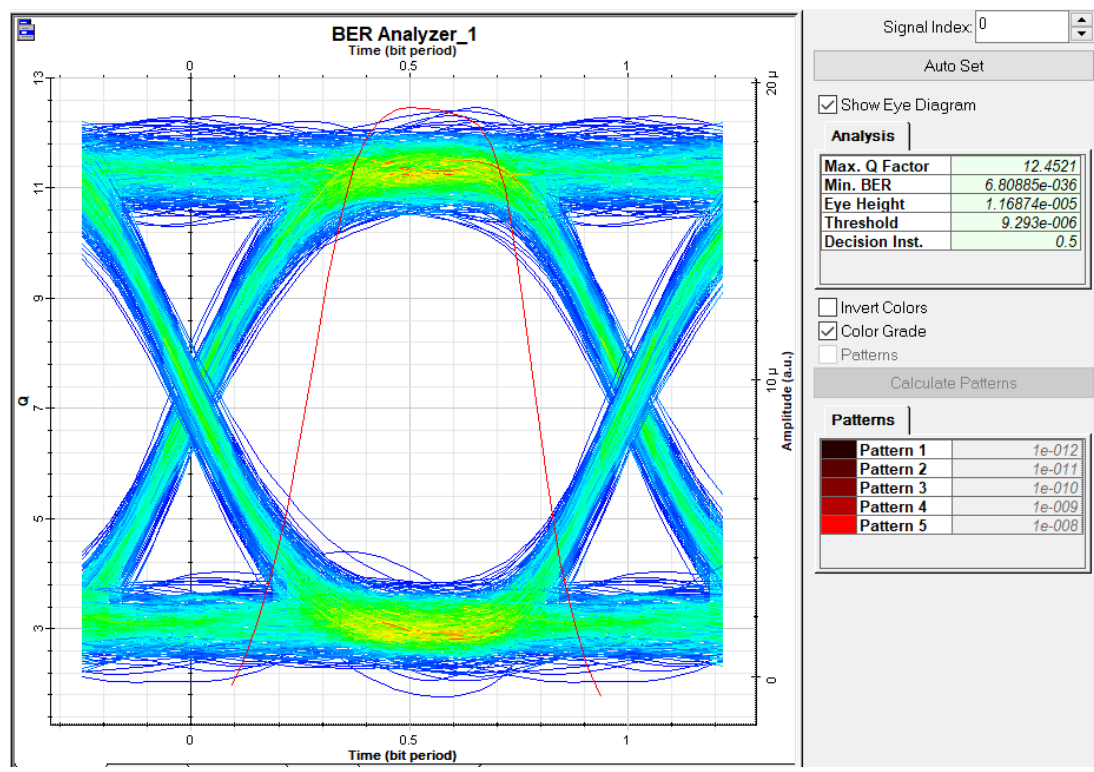
*Potencia de salida en la caja F2 del distrito 2022.F02M22.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.15**

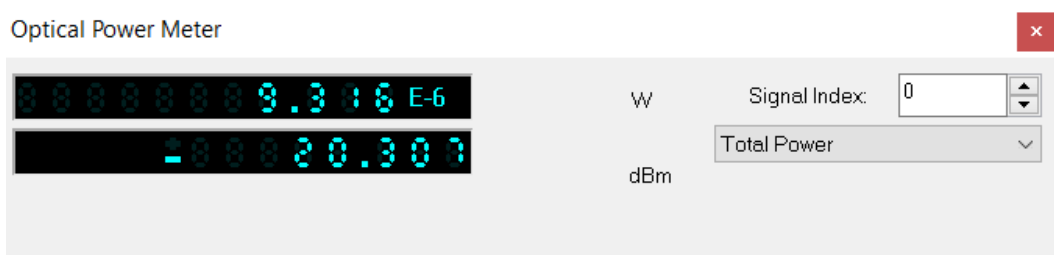
*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja A1 del distrito 2454.F01M09.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.16**

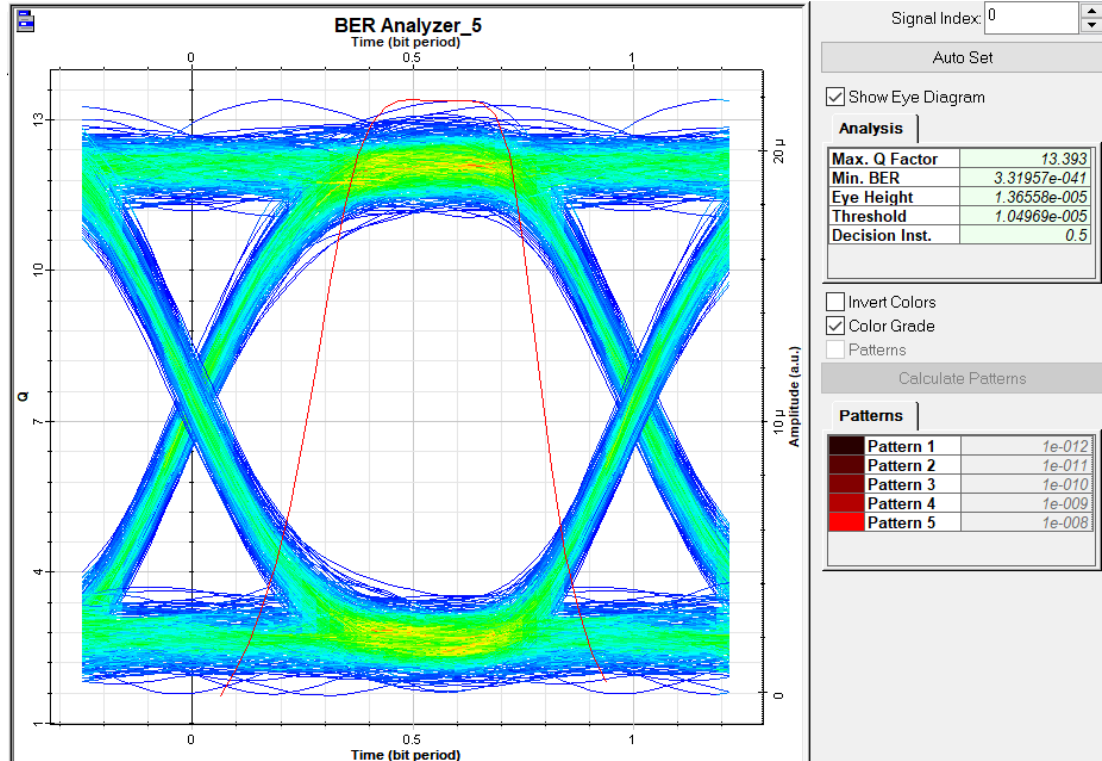
*Potencia de salida en la caja A1 del distrito 2451.F01M09.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.17**

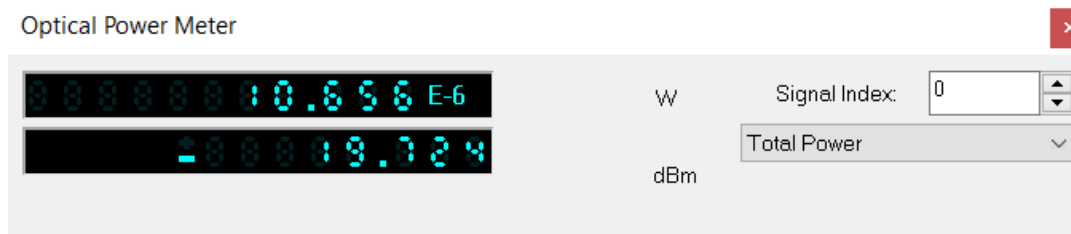
*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja G2 del distrito 2454.F01M09.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.18**

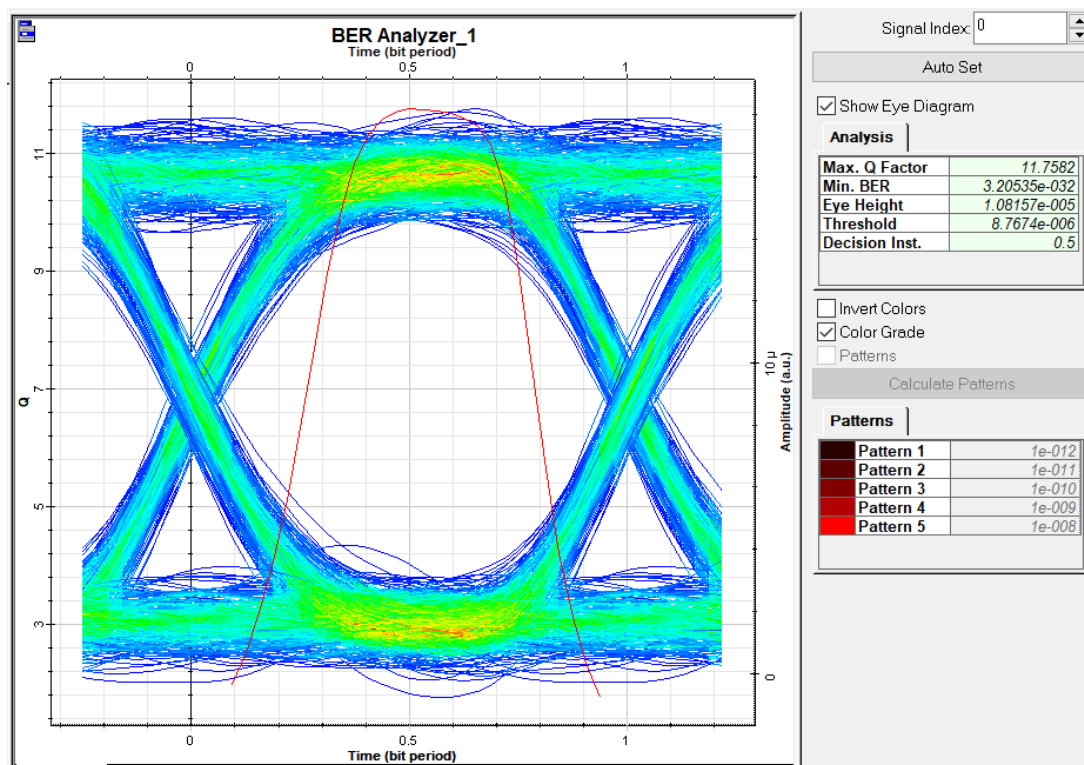
*Potencia de salida en la caja G2 del distrito 2451.F01M09.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.19**

*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja A1 del distrito 2012.F04M07.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.20**

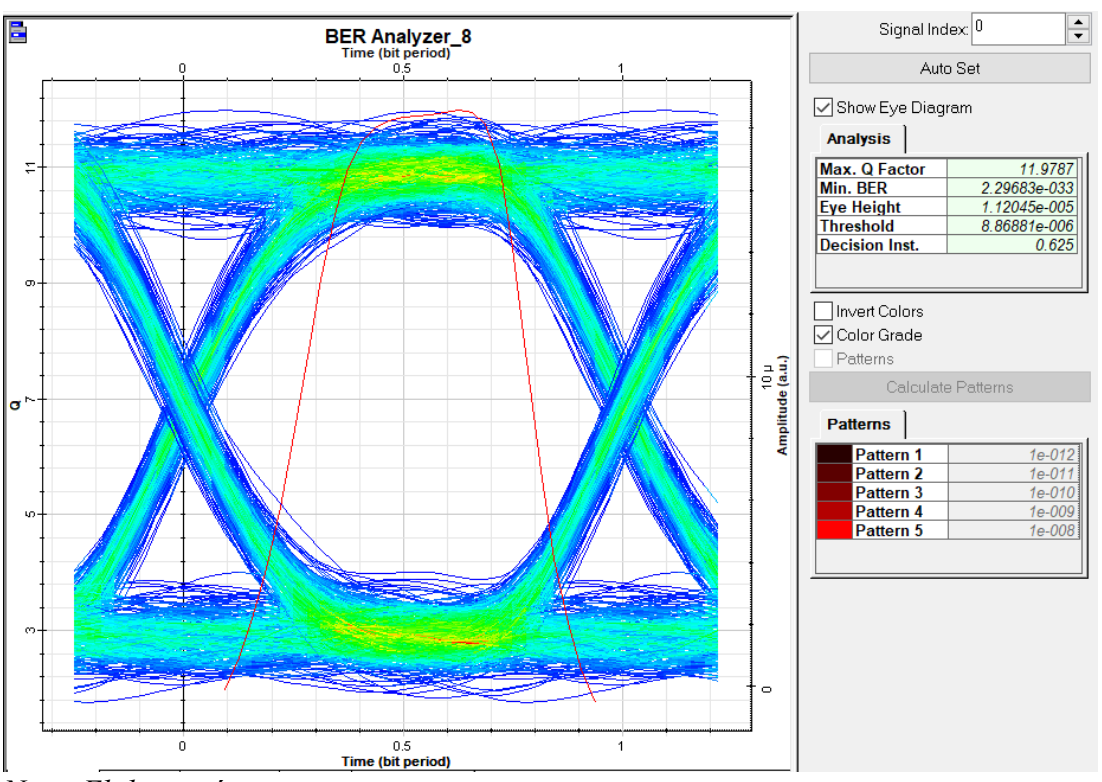
*Potencia de salida en la caja A1 del distrito 2012.F04M07.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.21**

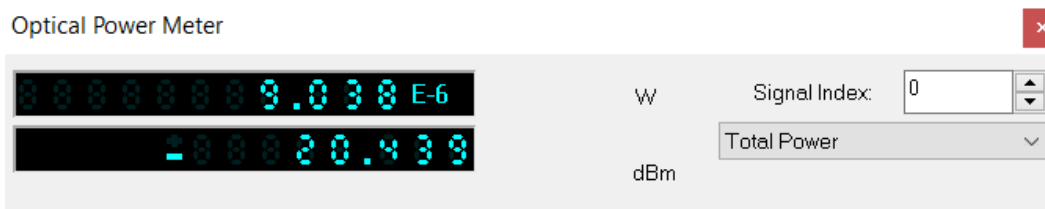
*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja D1 del distrito 2012.F04M07.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.22**

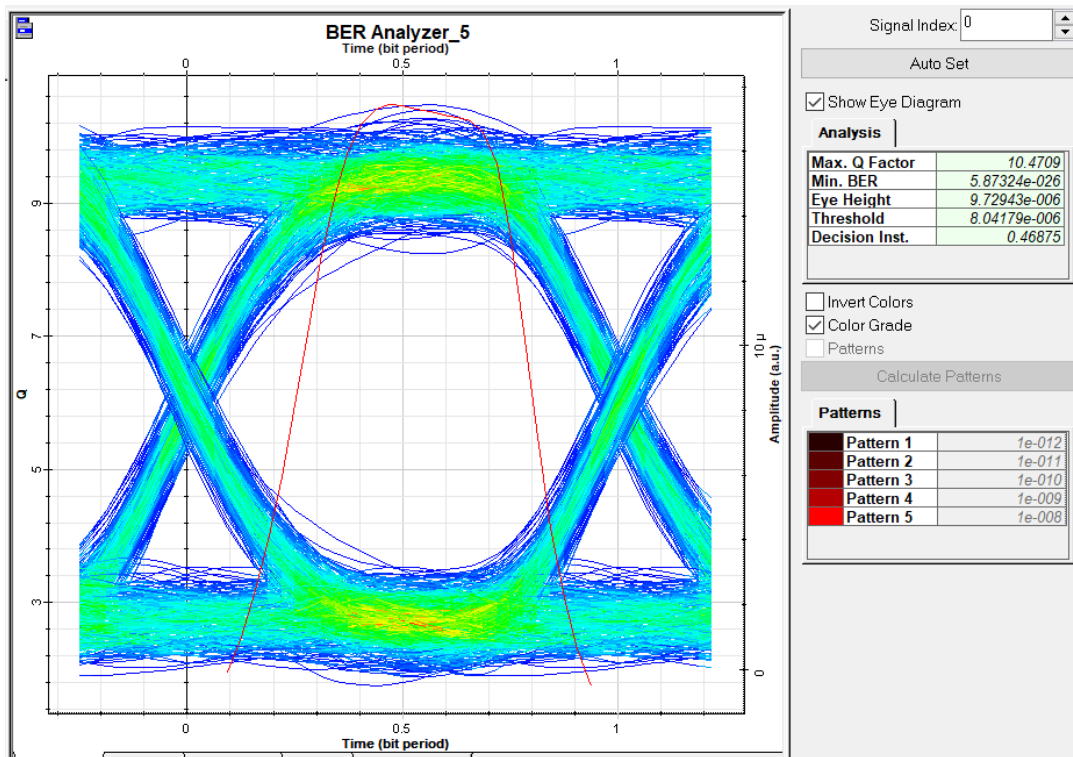
*Potencia de salida en la caja D1 del distrito 2012.F04M07.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.23**

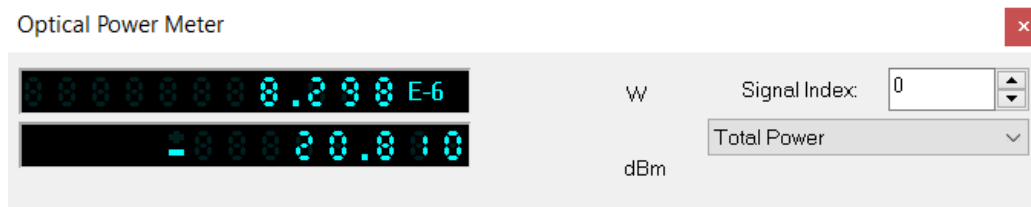
*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja H1 del distrito 2206.F03M04.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.24**

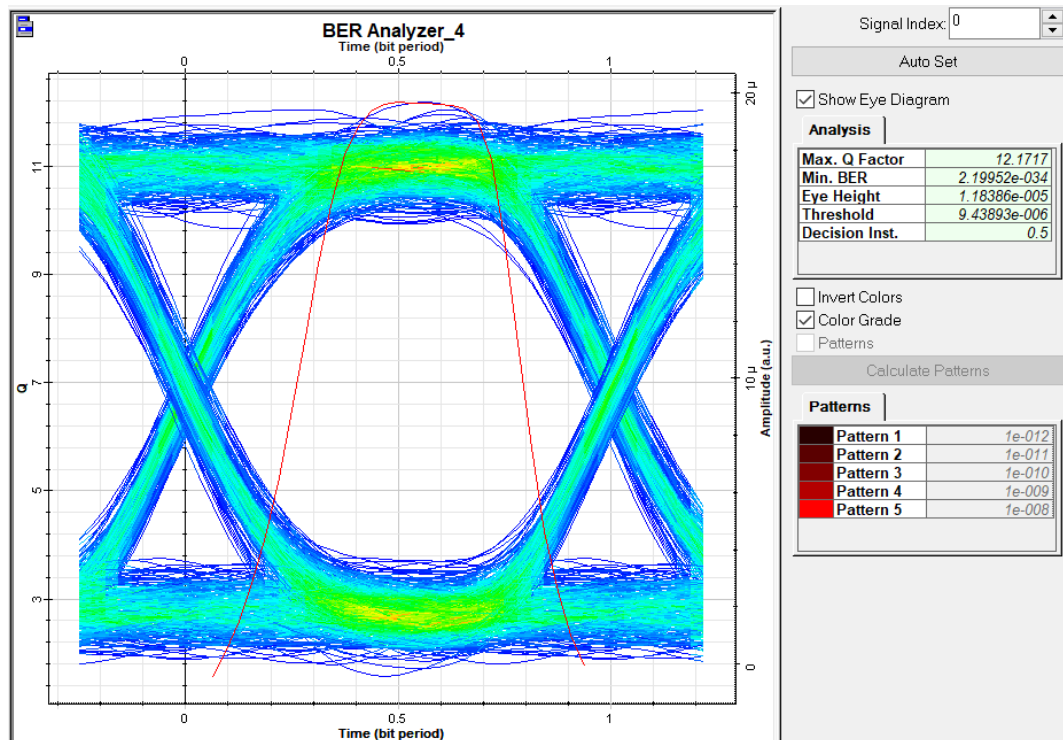
*Potencia de salida en la caja H1 del distrito 2206.F03M04.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.25**

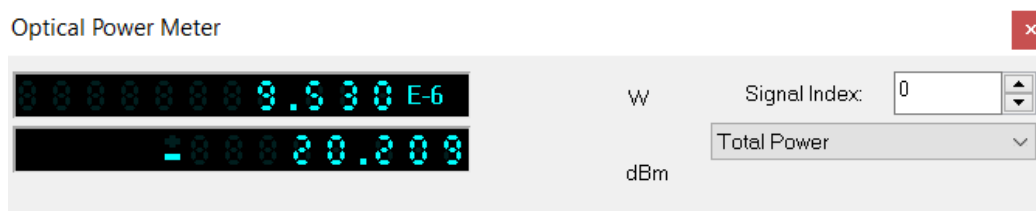
*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja G4 del distrito 2206.F03M04.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.26**

*Potencia de salida en la caja G4 del distrito 2206.F03M04.*



*Nota. Elaboración propia*

De las simulaciones realizadas, se obtiene la tabla 3.12, que evidencia el cumplimiento y de la recomendación ITU como de la normativa de CNT EP.

**Tabla 3.12**

*Comparación de valores obtenidos mediante simulación para nivel de splitteo 1:64*

Distrito	Caja	Distancia (Km)	BER		Potencia CNT EP (dB)	Potencia Simulación (dB)
			ITU-T G984.2 Menor	BER Simulación		
2022.F02M22	A1	9.183	1.00E-10	1.88E-15	-25.00	-22.356
	F2	7.126		6.959E-18		-21.838
2451.F01M09	A1	2.357		6.81E-36		-20.307
	G2	0.409		3.32E-41		-19.724
2012.F04M07	A1	3.209		3.21E-32		-20.563
	D1	2.795		2.30E-33		-20.439
2206.F03M04	H1	4.361	5.87E-26	-20.81		
	G4	2.358	2.20E-34	-20.209		

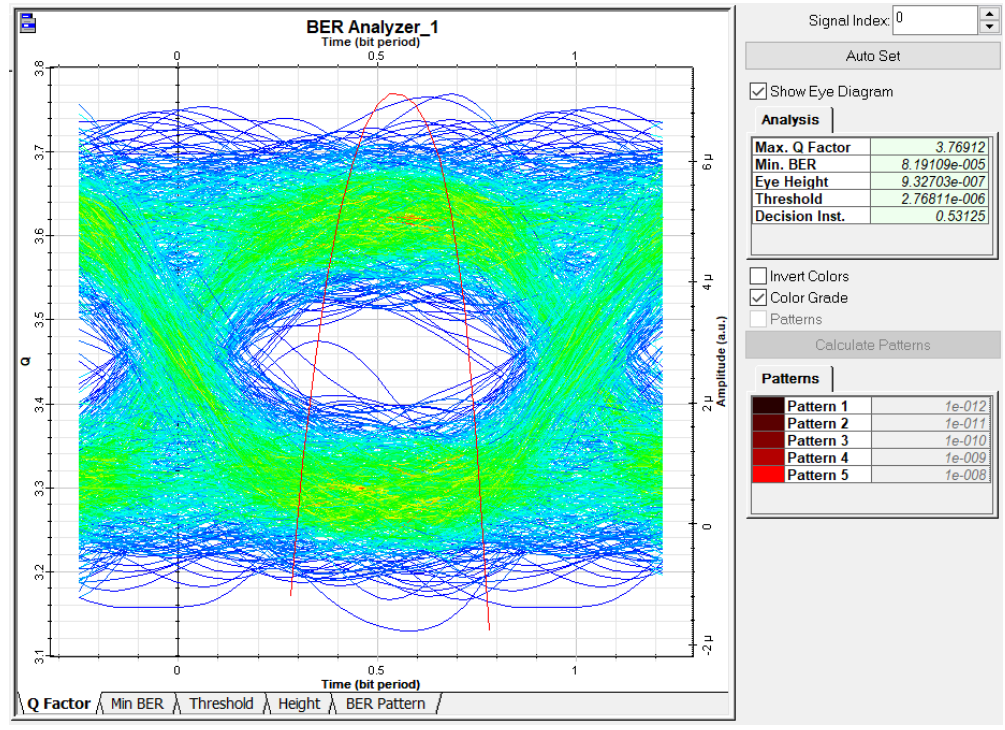
*Nota. Elaboración propia*

### 3.5.2. Resultados obtenidos de la simulación de la red GPON con nivel de splitteo 1:128

De acuerdo con los parámetros obtenidos de la investigación, se realiza la simulación con nivel de splitteo 1:128, obteniendo los siguientes resultados.

**Figura 3.27**

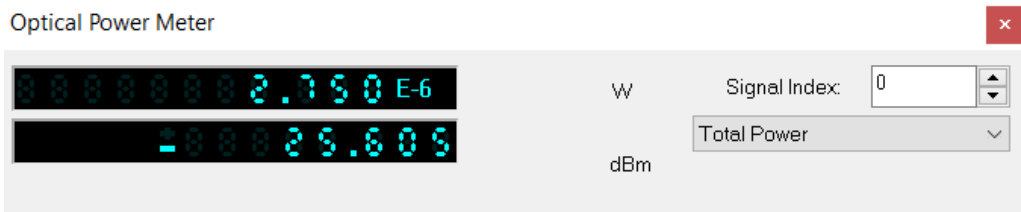
*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja A1 del distrito 2022.F02M22.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.28**

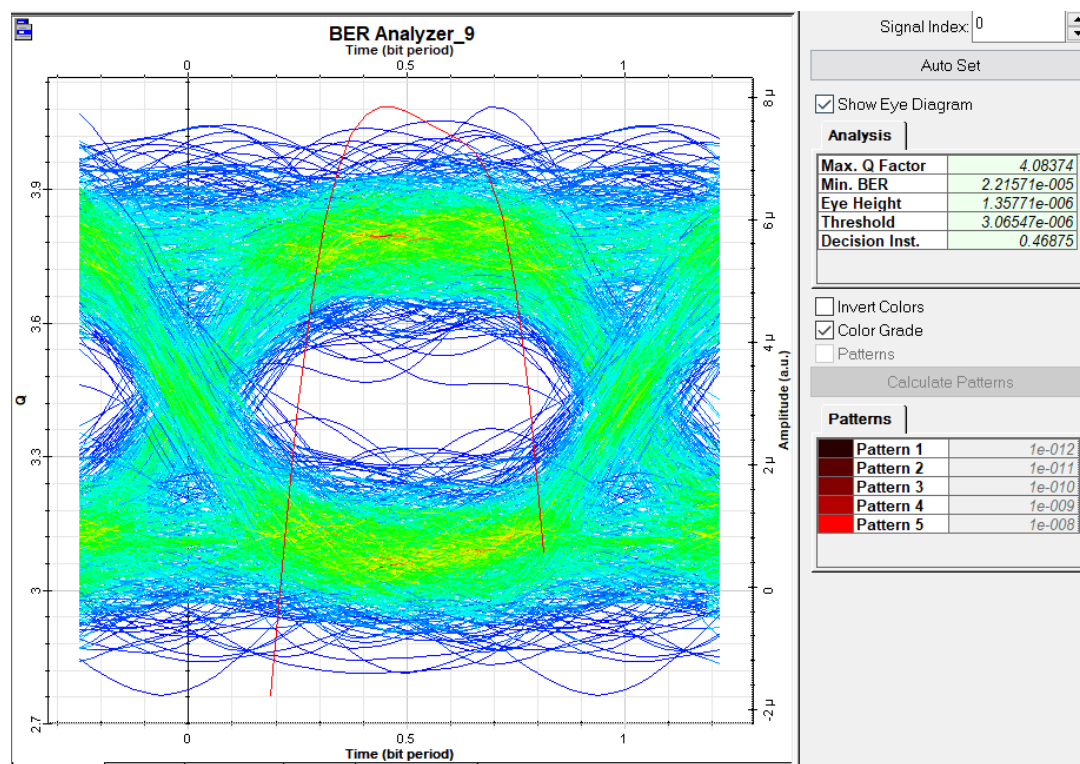
*Potencia de salida en la caja A1 del distrito 2022.F02M22.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.29**

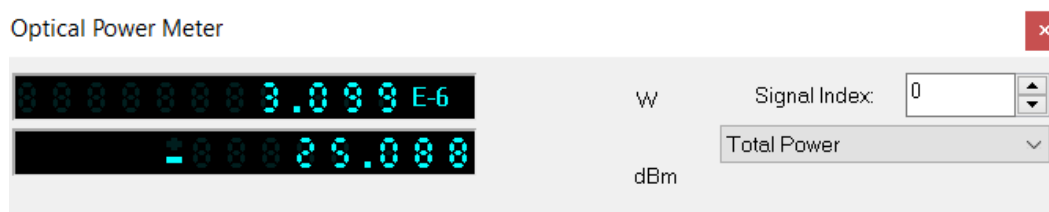
*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja F2 del distrito 2022.F02M22.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.30**

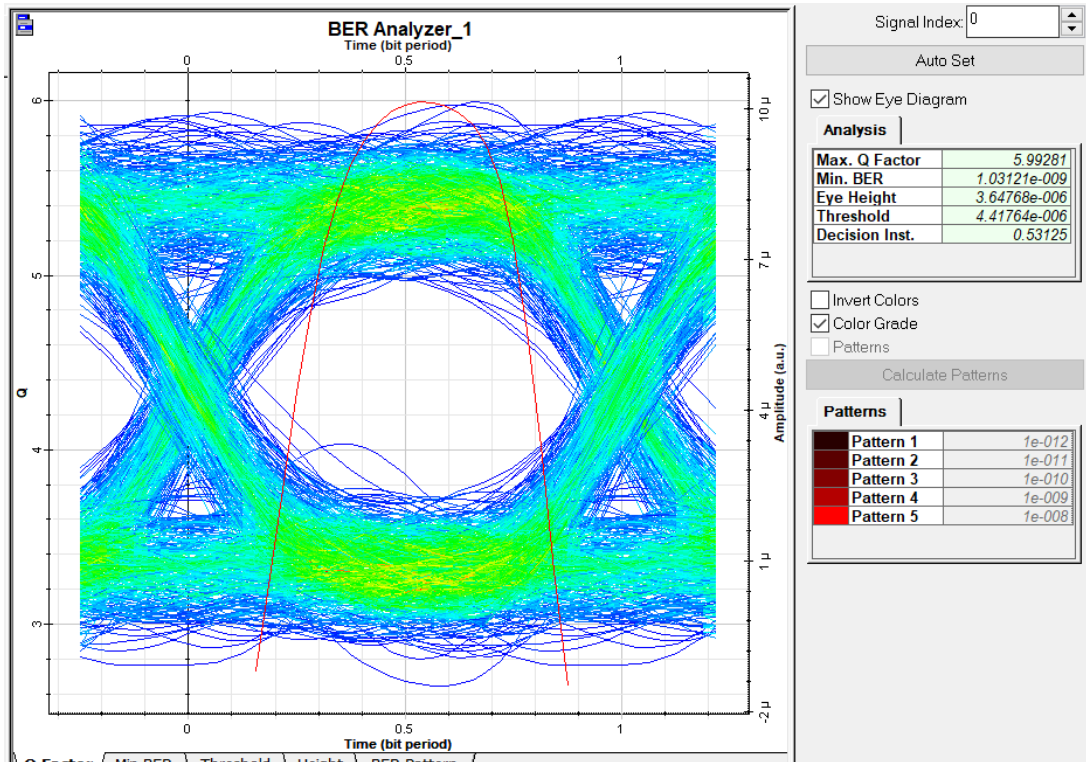
*Potencia de salida en la caja F2 del distrito 2022.F02M22.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.31**

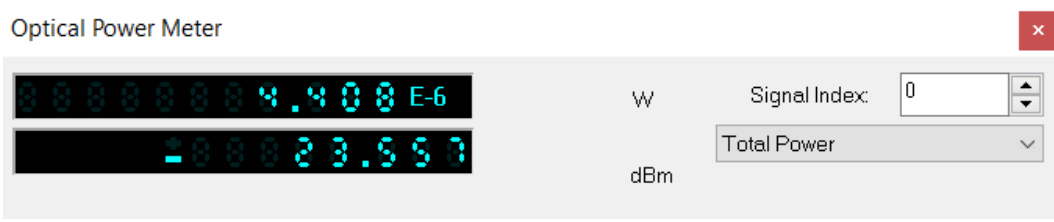
*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja A1 del distrito 2451.F01M09.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.32**

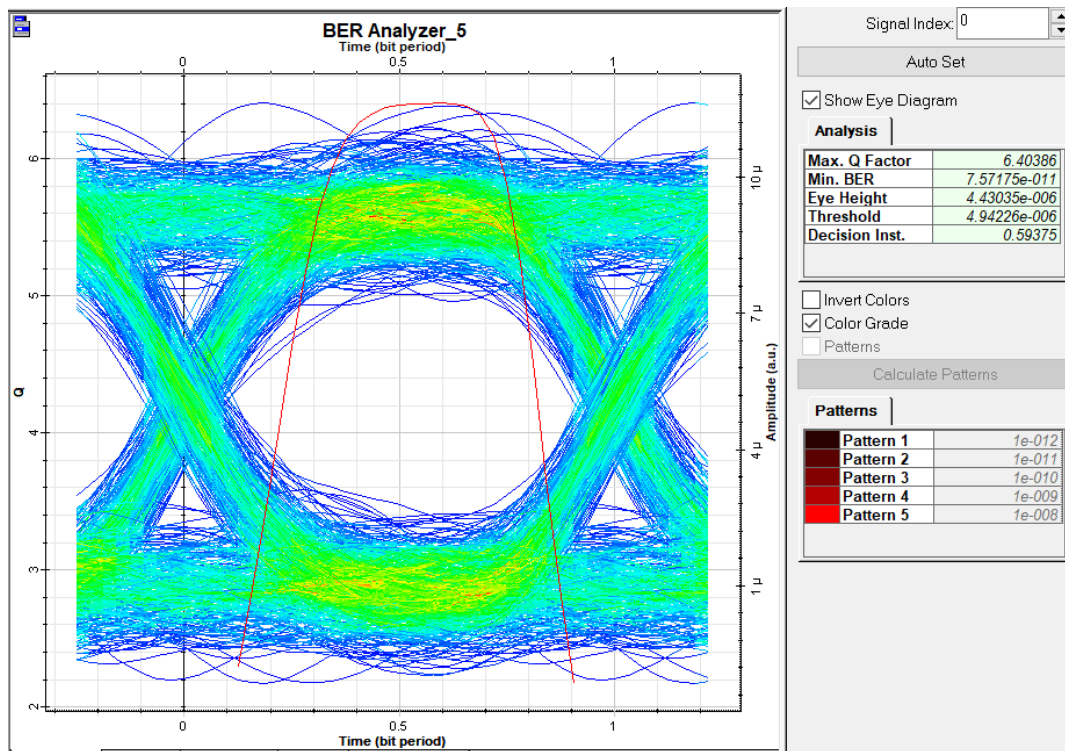
*Potencia de salida en la caja A1 del distrito 2451.F01M09.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.33**

*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja G2 del distrito 2451.F01M09.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.34**

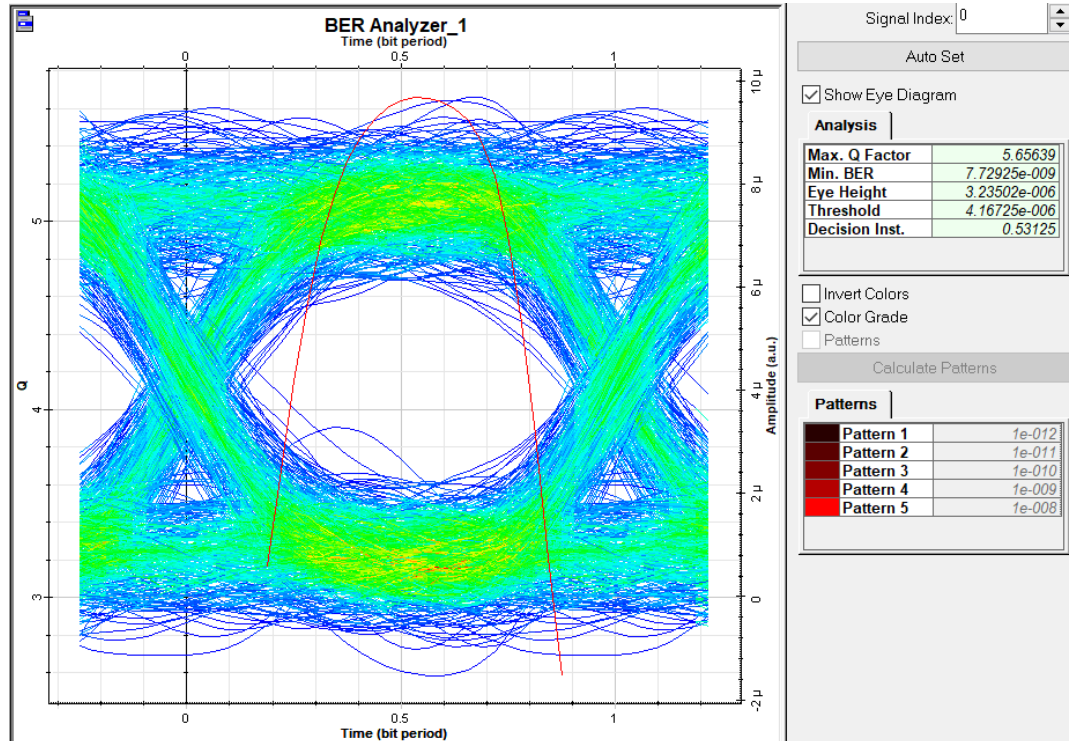
*Potencia de salida en la caja G2 del distrito 2451.F01M09.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.35**

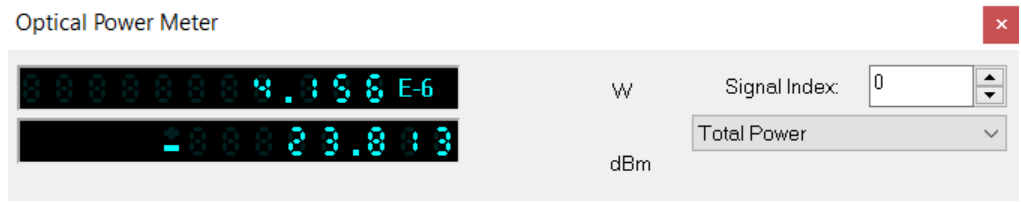
*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja A1 del distrito 2012.F04M07.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.36**

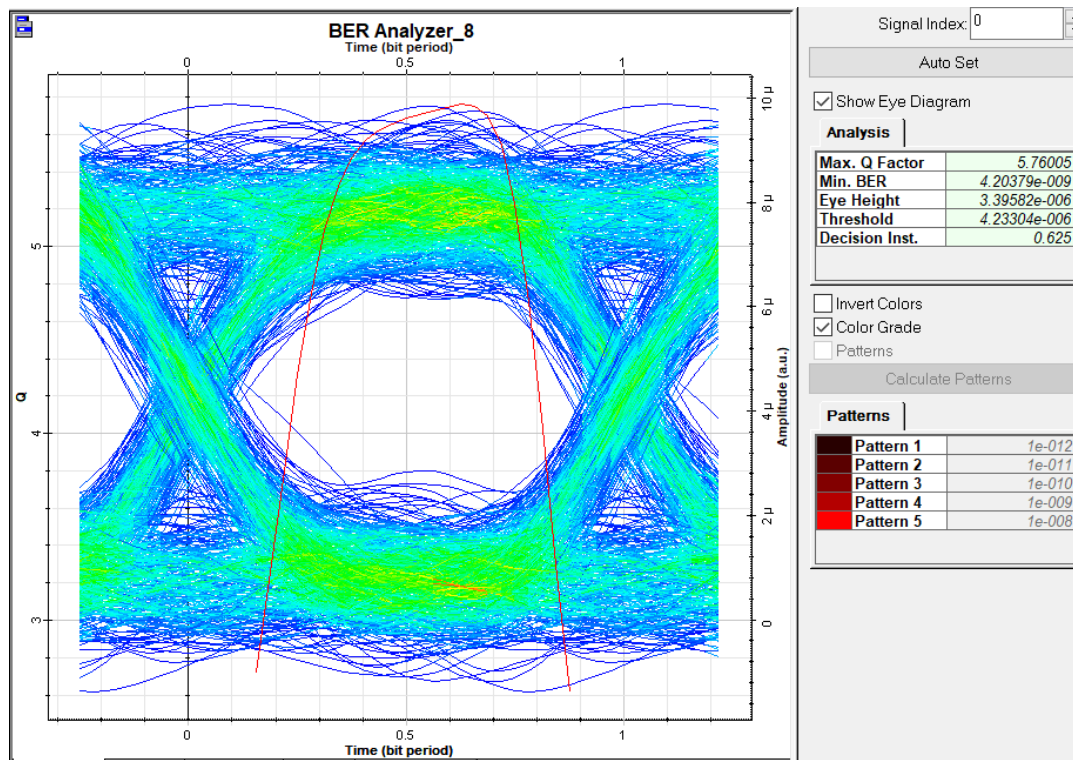
*Potencia de salida en la caja A1 del distrito 2012.F04M07.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.37**

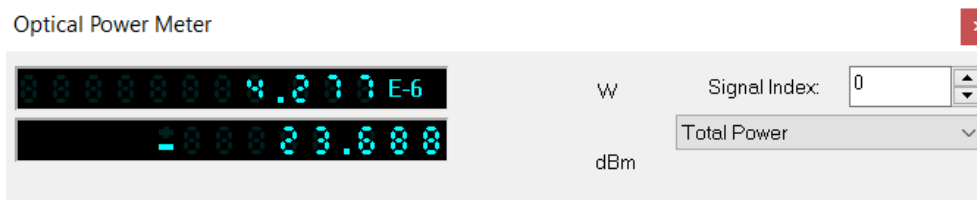
*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja D1 del distrito 2012.F04M07.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.38**

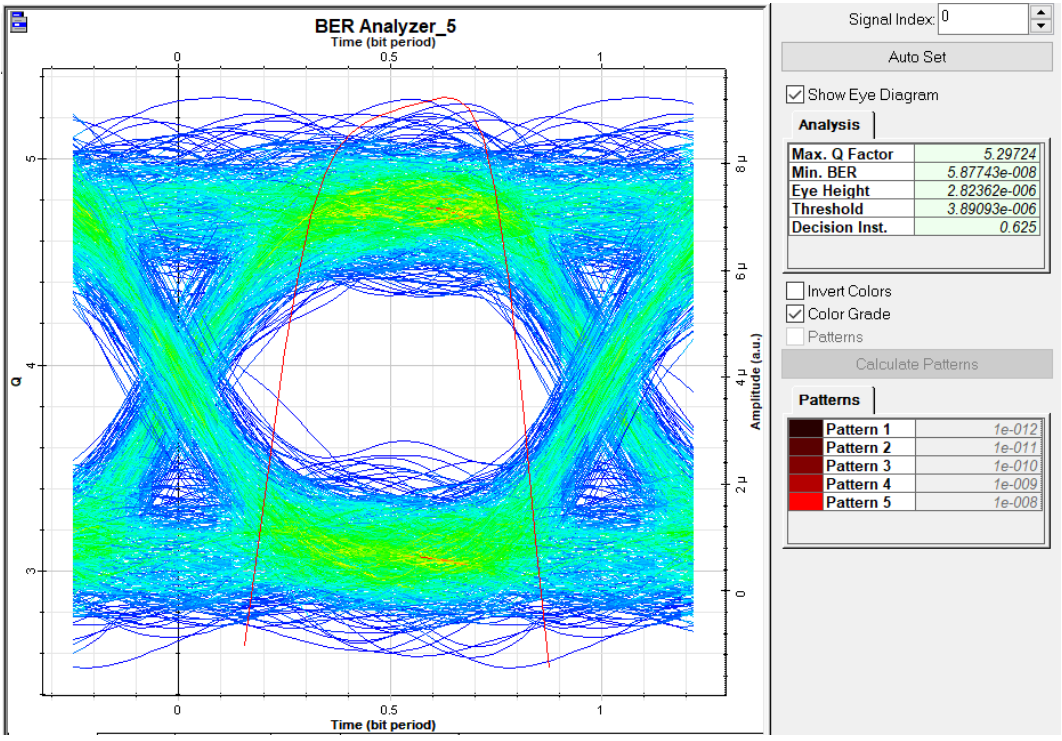
*Potencia de salida en la caja D1 del distrito 2012.F04M07.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.39**

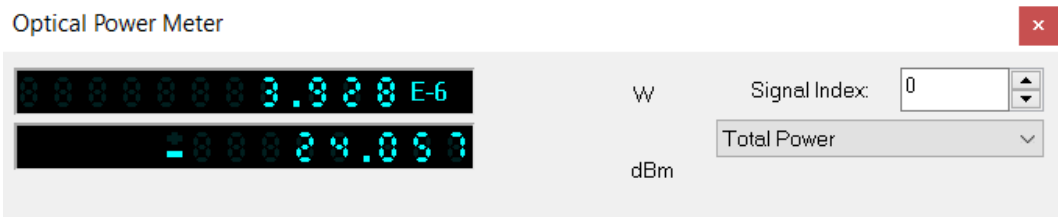
*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja H1 del distrito 2206.F03M04.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.40**

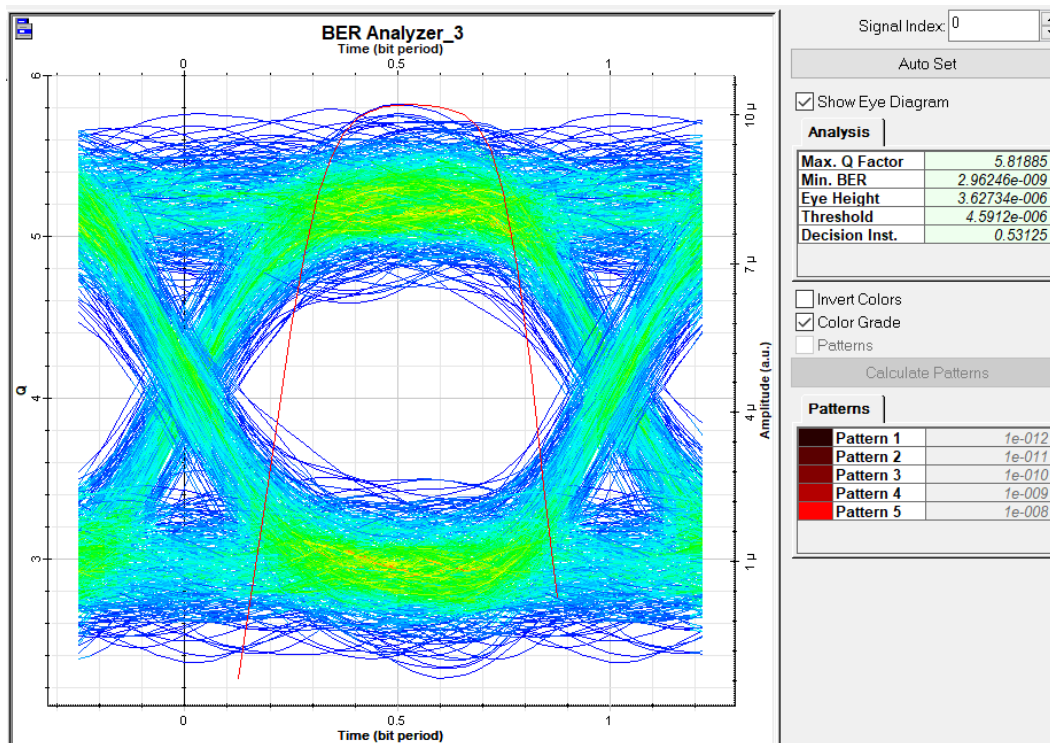
*Potencia de salida en la caja H1 del distrito 2206.F03M04.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.41**

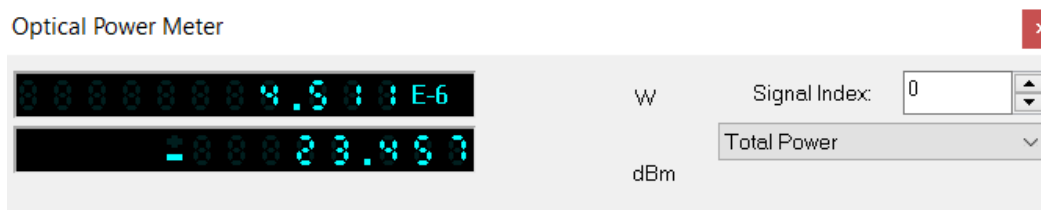
*BER, factor Q y diagrama de ojo de la caja G4 del distrito 2206.F03M04.*



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 3.42**

*Potencia de salida en la caja G4 del distrito 2206.F03M04.*



*Nota. Elaboración propia*

De las simulaciones realizadas, se obtiene la tabla 3.13, que evidencia el no cumplimiento de la recomendación ITU para distancias mayores a 1km y para distancias hasta 5km se cumple con el parámetro de potencia solicitado por la normativa de CNT EP.

**Tabla 3.13**

*Comparación de valores obtenidos mediante simulación para nivel de splitteo 1:128*

Distrito	Caja	Distancia (Km)	BER ITU-T G984.2 Menor	BER Simulación	Potencia CNT EP (dB)	Potencia Simulación (dB)
2022.F02M22	A1	9.183	1.00E-10	8.19E-05	-25.00	-25.605
	F2	7.126		2.22E-05		-25.088
2451.F01M09	A1	2.357		1.03E-09		-23.557
	G2	0.409		7.57E-11		-22.972
2012.F04M07	A1	3.209		7.73E-09		-23.813
	D1	2.795		4.20E-09		-23.688
2206.F03M04	H1	4.361		5.88E-08		-24.057
	G4	2.358		2.96E-09		-23.457

*Nota. Elaboración propia*

## CONCLUSIONES

- El estudio aborda la optimización de los puertos GPON en la empresa CNT EP, centrándose en la ocupación de los puertos y los componentes de la ODN. Al tomar en consideración las recomendaciones de la ITU-T y las normas de la CNT, se ha determinado que cambiar el nivel de splitteo en la red existente no es factible debido a la arquitectura actual de la red. Este hallazgo se basa en el análisis de cuatro distritos, en los cuales se observa que la distancia promedio desde la red de distribución hasta la caja NAP más lejana es de aproximadamente 2 kilómetros. Además, teniendo en cuenta la distancia mínima de red feeder, no se permite el cambio de splitteo a una relación de 1:128 en ningún armario.
- El aumento en el nivel de splitteo podría impactar negativamente la velocidad de transmisión, especialmente cuando se requiere distribuir la señal para 128 abonados en situaciones de alta demanda de servicio. Además, la alta tasa de bits errados, que indica una calidad de transmisión deficiente, tendría un efecto negativo en el servicio ofrecido.
- Se puede apreciar que en el desarrollo de la investigación que las simulaciones realizadas se basaron en las especificaciones técnicas de los equipos y materiales utilizados en la implementación de redes FTTH. Esto se logró mediante la recopilación de datos y muestras tomados en campo, que luego se compararon con los resultados obtenidos en el experimento.
- Como se estableció en el primer objetivo específico, se pudo constatar que los elementos pasivos utilizados en todos los proyectos de despliegue de la CNT EP, que conforman la ODN de la red GPON, cumplen con las especificaciones técnicas requeridas por la empresa.
- De acuerdo con las mediciones de atenuación realizadas en campo por personal de la CNT EP en 680 puertos de salida en 85 NAPS distribuidas en diferentes puntos de la ciudad, se obtiene una diferencia promedio de 10.14% en comparación con el presupuesto óptico

teórico. Esto indica que las pérdidas teóricas son mayores posiblemente debido a variaciones en la homogeneidad de los materiales y mano de obra calificada para los trabajos de empalmes. Esta diferencia proporciona un margen de seguridad adicional a la red.

- En la comparación de la red existente con nivel de splitteo 1:64, se llevaron a cabo mediciones en cuatro distritos, lo que resultó en una potencia -22.35dB y un BER de  $1.88e-15$  para el puerto de la caja más distante, ubicada a 9.183 kilómetros de distancia de la OLT. Estos valores se encuentran dentro de los rangos aceptables establecidos por las normativas de CNT EP e ITU-T G984.2.
- En relación a la simulación con nivel de splitteo 1:128, se llevaron a cabo pruebas de potencia que arrojaron valores comprendidos entre -25.605dB y -22.972dB para las cajas más distantes y cercanas, respectivamente. Sin embargo, es importante señalar que a excepción de la caja ubicada a 400 metros de la OLT, los valores de bits errados no cumplen con la norma ITU-T G984.2. Esto sugiere que el rendimiento de la red se ve comprometido en las ubicaciones más alejadas con un nivel de splitteo de 1:128
- Una red GPON splitteada en 1:128 puede permitir un gran número de suscriptores sin requerir a una infraestructura adicional. Sin embargo, como se evidencia en esta investigación, debido a la división de la señal, la potencia recibida por los suscriptores más lejanos de la fuente de la señal no cumple con las normativas vigentes.
- Se concluye que no es factible realizar el cambio de nivel de splitteo para la arquitectura actual de la red de CNT. Esto se debe a la distancia promedio entre las cajas en la red de distribución actual, que oscila entre 2000 y 200, y las condiciones de la red feeder.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda ante una posible rotura de cable que pueda generar un punto adicional de pérdida a futuro trabajar con nivel de splitteo 1:64 hasta 10 kilómetros desde la OLT hasta el cliente más lejano, para tener un factor de seguridad y que la navegabilidad no se vea afectada.
- Debido a que la implementación de redes FTTH a nivel urbano se realiza de forma aérea y canalizada, se recomienda tener un factor de seguridad que permita tener las reparaciones necesarias a la fibra óptica.
- Se sugiere que se realice continuamente monitoreo de la red FTTH de la red de CNT EP mediante pruebas de atenuación y potencia para poder brindar mantenimientos preventivos oportunos.
- Se recomienda realizar la simulación en el programa OptiSystem con los valores teóricos indicados por normativa para los elementos pasivos.
- Se sugiere efectuar un análisis económico de la posible implementación de red GPON splitteada a 1:128 con el propósito de completar la evaluación técnica efectuada.
- Para evitar tener pérdidas mayores a las indicadas por norma en la red ODN, se recomienda tener los cuidados necesarios para la manipulación de los elementos como son conectores, cortes de fibra y fusiones compatibles, con el fin de evitar degradaciones de rendimiento provocando atenuaciones de la señal.

## BIBLOGRAFÍA

Pardo, D. (2021). Estudio para el diseño de una red de acceso GPON, para la ciudad de Loreto en la Provincia de Orellana. Caso de estudio La Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP.

Manjarres, D. (2017). Evaluación de una red de distribución óptica utilizada en el estándar GPON g984 para medir parámetros óptimos de calidad de servicio sobre Optisystem utilizando normativa CNT.

Cedillo, C. y Nieto, M. (2019). Análisis para la optimización del presupuesto óptico sobre última milla, mediante pruebas dentro de la red Gpon de CNT en la ciudad de azogues.

Arévalo, G. (2022). Curso de Diseño y Administración de Fibra Óptica. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Corporación Nacional de Telecomunicaciones (2017). “Normativa Técnica de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica (ODN-Optical Distribution Network).

Corporación Nacional de Telecomunicaciones (2021). “Normativa de Instalaciones Para Clientes Finales en Redes FTTH-GPON

Loayza, P. (2019). Diseño de redes FTTH-GPON con enfoque QoS.

Endara, D. (2021). Análisis, diseño y simulación de una red FTTH GPON para la población de la Parroquia de Checa de la Ciudad de Quito.

Optiwave. (2023). Optiwave Photonic Software. Obtenido de <https://optiwave.com>

Corporación Nacional de Telecomunicaciones (2012). “Normas de diseño y construcción de redes de telecomunicaciones con fibra óptica.

OpenFlexis. (2023). Corporación Nacional de Telecomunicaciones.

Corporación Nacional de Telecomunicaciones (2023). Reporte ocupación GPON 08052023.

Ministerio de Telecomunicaciones (2023, junio). Ecuador entre los primeros países con mayor velocidad de banda ancha fija y móvil de América Latina. Obtenido de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/ecuador-los-primeros-paises-mayor-velocidad-banda-ancha-fija-movil-america-latina/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20este%20estudio,Internet%20fijo%20de%2014%2C55>

CISCO. (2020). Cisco Annual Internet Report 2018–2023

Huerta, S. (2023). Centrales GPON de la CNT EP. Entrevistado por Patricio Duque.