



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

### **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES**

#### **ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR G.984.X PARA EL DESPLIEGUE DE UNA RED DE ACCESO DE SERVICIOS TRIPLE PLAY PARA LA ZONA URBANA DEL CANTÓN GUANO**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

**AUTOR: JAYRO GONZALO MOREJÓN SANMARTÍN**

Riobamba-Ecuador

2021



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

### **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES**

#### **ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR G.984.X PARA EL DESPLIEGUE DE UNA RED DE ACCESO DE SERVICIOS TRIPLE PLAY PARA LA ZONA URBANA DEL CANTÓN GUANO**

**Trabajo de titulación**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

**AUTOR:** JAYRO GONZALO MOREJÓN SANMARTÍN

**DIRECTOR:** ING. OSWALDO MARTÍNEZ

Riobamba-Ecuador

2021

© 2021, Jayro Gonzalo Morejón Sanmartín

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

Yo Jayro Gonzalo Morejón Sanmartín, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación: El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

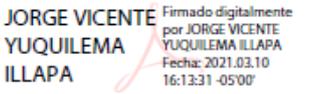
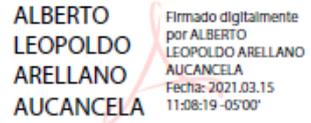
Riobamba, 09 de marzo del 2021

---

**Jayro Gonzalo Morejón Sanmartín**  
**2300066517**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y**  
**REDES**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: **ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR G.984.X PARA EL DESPLIEGUE DE UNA RED DE ACCESO DE SERVICIOS TRIPLE PLAY PARA LA ZONA URBANA DEL CANTÓN GUANO** realizado por el señor **JAYRO GONZALO MOREJÓN SANMARTÍN**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

| <b>NOMBRE</b>   | <b>FIRMA</b>  | <b>FECHA</b>                |
|---|---|-----------------------------|
| Ing. Jorge Yuquilema<br><b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>            | <br>JORGE VICENTE YUQUILEMA ILLAPA<br>Firmado digitalmente por JORGE VICENTE YUQUILEMA ILLAPA<br>Fecha: 2021.03.10 16:13:31 -05'00'           | <u>09 de marzo del 2021</u> |
| Ing. Oswaldo Martínez<br><b>DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN</b> | <br>OSWALDO GEOVANNY MARTINEZ GUASHIMA<br>Firmado digitalmente por OSWALDO GEOVANNY MARTINEZ GUASHIMA   | <u>09 de marzo del 2021</u> |
| Ing. Alberto Arellano<br><b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>              | <br>ALBERTO LEOPOLDO ARELLANO AUCANCELA<br>Firmado digitalmente por ALBERTO LEOPOLDO ARELLANO AUCANCELA<br>Fecha: 2021.03.15 11:08:19 -05'00' | <u>09 de marzo del 2021</u> |

## **DEDICATORIA**

El agradecimiento de este proyecto se lo dedico principalmente a Dios, por haberme permitido culminar mis estudios con éxito, a mi madre, por haber confiado en mí y brindarme el apoyo para seguir adelante, por haberme dado amor y por enseñarme a ser una persona de bien con mucho cariño. A mi familia por haberme apoyado infatigablemente y haber colaborado para que yo me forme profesionalmente, por haberme instruido con trabajo y dedicación, que cada esfuerzo tiene su recompensa, A mis tutores y maestros, por haberme enfocado a seguir mis sueños hasta conseguirlos por haberme dedicado tiempo para impartir sus conocimientos y plasmar en mi valores que debo espetar en mi profesión , aludiendo también que gracias a ellos soy una persona que puede trabajar en grupo compartiendo ideas y conocimientos con los demás y ser un aporte para el país.

Jayro

## **AGRADECIMIENTO.**

Agradezco infinitamente a Dios, a mi madre y la institución que me amparó para ser mi guía en estos años como es a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por haberme dado la oportunidad de continuar con mis estudios y para formar un profesional de bien para el país.

A mi hijo por ser el motor de vida, a todas y cada una de las personas que me han acompañado en cada paso de mi vida en mis éxitos como en mis fracasos.

Agradezco a mis tutores de proyecto, que me ha guiado e impartiendo su conocimiento conmigo para llevar a cabo este trabajo con éxito y excelencia.

Jayro

## TABLA DE CONTENIDO

|  |           |
|--|-----------|
| ÍNDICE DE TABLAS.....  | xi        |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....   | xii       |
| ÍNDICE DE ANEXOS .....   | xv        |
| ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....                                      | xvi       |
| RESUMEN .....  | xvii      |
| ABSTRACT .....   | xviii     |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>   |           |
| <b>1. MARCO TEÓRICO.....</b>                                     | <b>5</b>  |
| <b>1.1 Redes de Acceso .....</b>                                 | <b>5</b>  |
| <i>1.1.1 Tipos de Redes de Acceso .....</i>                      | <i>5</i>  |
| <i>1.1.1.1 xDSL (Digital Subscriber Line).....</i>               | <i>6</i>  |
| <i>1.1.1.2 Redes Ópticas .....</i>                               | <i>7</i>  |
| <b>1.2 Redes ópticas pasivas (PON).....</b>                      | <b>7</b>  |
| <i>1.2.1 APON.....</i>   | <i>8</i>  |
| <i>1.2.2 BPON.....</i>   | <i>8</i>  |
| <i>1.2.3 EPON.....</i>   | <i>8</i>  |
| <i>1.2.4 GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network).....</i> | <i>8</i>  |
| <i>1.2.4.1 Protocolos utilizados en GPON.....</i>                | <i>9</i>  |
| <b>1.3 Elementos activos constitutivos de una red GPON.....</b>  | <b>10</b> |
| <i>1.3.1 OLT (Optical Line Terminal).....</i>                    | <i>11</i> |
| <i>1.3.2 ODN (Optical Distribution Network).....</i>             | <i>11</i> |
| <i>1.3.2.1 Parámetros de la ODN.....</i>                         | <i>12</i> |
| <i>1.3.3 ONT (Optical Network Terminal).....</i>                 | <i>12</i> |
| <b>1.4 Elementos pasivos o de interconexión.....</b>             | <b>13</b> |
| <i>1.4.1 Conectores de fibra óptica.....</i>                     | <i>13</i> |
| <i>1.4.2 Mangas .....</i>  | <i>14</i> |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 1.4.3   | <i>Herraje</i> .....  | 15 |
| 1.4.4   | <i>Patch cord</i> .....   | 15 |
| 1.4.5   | <i>Pigtail</i> .....  | 15 |
| 1.4.6   | <i>Splitters</i> .....  | 16 |
| 1.4.7   | <i>Acoplador</i> .....  | 16 |
| 1.4.8   | <i>NAP (Network Access Point)</i> .....   | 17 |
| 1.4.9   | <i>FDH (Fiber Distribution Hub) o Armario óptico</i> .....                      | 17 |
| 1.4.10  | <i>FDB (Fiber Distribution Building), FDF (Fiber Distribution Floor)</i> . .... | 17 |
| 1.4.11  | <i>Roseta óptica</i> .....  | 17 |
| 1.4.12  | <i>ODF</i> .....  | 18 |
| 1.5     | <b>Arquitectura de redes ópticas: Redes FTTx</b> .....                          | 18 |
| 1.5.1   | <i>FTTN</i> .....   | 19 |
| 1.5.2   | <i>FTTB</i> .....   | 20 |
| 1.5.3   | <i>FTTC</i> .....   | 21 |
| 1.5.4   | <i>FTTH</i> .....   | 21 |
| 1.5.4.1 | <i>Topología de árbol</i> . ....  | 22 |
| 1.6     | <b>Envío de paquetes Downstream</b> .....                                       | 22 |
| 1.7     | <b>Envío de paquetes Upstream</b> .....   | 23 |
| 1.8     | <b>Formatos de tramas</b> .....   | 24 |
| 1.8.1   | <i>Downstream</i> .....   | 24 |
| 1.8.2   | <i>Upstream</i> .....   | 25 |
| 1.9     | <b>Fibra Óptica</b> .....   | 25 |
| 1.9.1   | <i>Códigos de colores</i> .....   | 28 |
| 1.9.2   | <i>Tipos de Fibra óptica según la ITU-T</i> .....                               | 29 |
| 1.10    | <b>Parámetros de Recepción</b> .....  | 30 |
| 1.10.1  | <i>Tasa de bits errados BER</i> .....   | 30 |
| 1.10.2  | <i>Factor Q</i> .....   | 30 |
| 1.10.3  | <i>Codificación NRZ (No Return to Zero)</i> .....                               | 30 |
| 1.10.4  | <i>Diagrama de ojo</i> .....  | 30 |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 1.10.5  | <i>Relación señal a ruido</i> .....  | 31 |
| 1.11    | <b>Servicio triple play</b> .....  | 31 |
| 1.11.1  | <i>Voz sobre IP</i> .....  | 32 |
| 1.11.2  | <i>Servicio de datos</i> .....   | 33 |
| 1.11.3  | <i>Video</i> .....   | 33 |
| 1.12    | <i>Software de redes ópticas</i> .....   | 34 |
| 1.12.1  | <i>OptSim</i> .....  | 34 |
| 1.12.2  | <i>OptiSystem</i> .....  | 35 |
| 2.      | <b>METODOLOGÍA</b>   |    |
| 2.      | <b>ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR ITU G.984.X</b> .....                                   | 36 |
| 2.1     | <b>Estándar ITU-T G.984.X</b> .....  | 36 |
| 2.1.1   | <i>Estándar ITU-T G.984.1</i> .....  | 36 |
| 2.1.2   | <i>Estándar ITU-T G.984.2</i> .....  | 37 |
| 2.1.3   | <i>Estándar ITU-T G.984.3</i> .....  | 37 |
| 2.1.3.1 | <i>Trama GPON en downstream</i> .....  | 37 |
| 2.1.3.2 | <i>Trama GPON en upstream</i> .....  | 39 |
| 2.1.4   | <i>Estándar ITU-T G.984.4</i> .....  | 40 |
| 2.1.5   | <i>Estándar ITU-T G.984.5</i> .....  | 40 |
| 2.2     | <b>Estándar ITU-T G.987</b> .....  | 41 |
| 2.3     | <b>Comparación de los estándares G.984 y G.987</b> .....                         | 42 |
| 2.4     | <b>Metodología del Diseño de la red GPON</b> .....                               | 42 |
| 2.5     | <b>Criterios de diseño</b> .....   | 43 |
| 2.6     | <b>Descripción de la Ubicación Geográfica de la zona urbana del Cantón</b> ..... | 43 |
| 2.7     | <b>Encuestas</b> .....   | 44 |
| 2.7.1   | <i>Cálculo Tamaño de la muestra</i> .....  | 44 |
| 2.7.2   | <i>Análisis de los resultados obtenidos</i> .....                                | 45 |
| 2.8     | <b>Arquitectura de la red GPON</b> .....   | 52 |
| 2.9     | <b>Selección de la topología de red</b> .....                                    | 53 |
| 2.10    | <b>Selección de la fibra óptica</b> .....  | 54 |

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| 2.11      | OLT Huawei SmartAX MA5603T .....                                | 54 |
| 2.12      | ONT Huawei EchoLife HG850A .....                                | 56 |
| 2.13      | Ubicación de equipos .....                                      | 56 |
| 2.13.1    | <i>Ubicación de OLT</i> .....                                   | 56 |
| 2.13.2    | <i>Divisores ópticos primarios (Manga porta splitter)</i> ..... | 57 |
| 2.13.3    | <i>Divisores ópticos secundarios (NAPs)</i> .....               | 58 |
| 2.14      | Diseño de la Red GPON .....                                     | 59 |
| 2.14.1    | <i>Red Feeder</i> .....   | 59 |
| 2.14.2    | <i>Red de Distribución</i> .....                                | 65 |
| 2.14.3    | <i>Red de Dispersión</i> .....                                  | 72 |
| 2.14.4    | <i>Presupuesto Óptico</i> .....                                 | 73 |
| 2.14.4.1. | <i>Cálculo óptico usuario más cercano</i> .....                 | 75 |
| 2.14.4.2. | <i>Cálculo óptico usuario más lejano</i> .....                  | 78 |
| 2.14.5    | <i>Cálculo del balance óptico de potencia</i> .....             | 80 |
| 2.14.5.1. | <i>Balance óptico de potencia del usuario más cercano</i> ..... | 80 |
| 2.14.5.2. | <i>Balance óptico de potencia del usuario más lejano</i> .....  | 81 |
| 3.        | <b>GESTIÓN DEL PROYECTO</b>                                     |    |
| 3         | <b>ÁNÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS</b> .....                | 82 |
| 3.1       | <b>Simulación de la red GPON</b> .....                          | 82 |
| 3.1.1     | <i>Configuración de OLT</i> .....                               | 82 |
| 3.1.2     | <i>Configuración de la ODN</i> .....                            | 84 |
| 3.1.3     | <i>Configuración de la ONT</i> .....                            | 86 |
| 3.2       | <b>Resultados de la simulación</b> .....                        | 88 |
| 3.2.1     | <i>Resultados obtenidos en la etapa de transmisión</i> .....    | 88 |
| 3.2.2     | <i>Resultados obtenidos en la etapa de recepción</i> .....      | 90 |
| 3.2.2.1   | <i>Factor Q y BER</i> .....                                     | 90 |
| 3.2.2.2   | <i>Diagrama de ojo usuario cercano</i> .....                    | 94 |
| 3.2.2.3   | <i>Diagrama de ojo usuario lejano</i> .....                     | 95 |
| 3.2.2.4   | <i>Potencia de recepción del usuario cercano</i> .....          | 96 |

|         |   |     |
|---------|---|-----|
| 3.2.2.5 | <i>Potencia de recepción del usuario lejano</i> ..... | 97  |
| 3.3     | <b>Inversión</b> .....                                | 98  |
| 3.3.1   | <i>Inversión Total</i> .....                          | 100 |
| 4.      | <b>CONCLUSIONES</b> .....                             | 102 |
| 5.      | <b>RECOMENDACIONES</b> .....                          | 103 |
|         | <b>GLOSARIO</b>                                       |     |
|         | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                                   |     |
|         | <b>ANEXOS</b>   |     |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla 1-1:</b> Elementos de una red de acceso .....                      | 5   |
| <b>Tabla 1-2:</b> Tipos de tecnología xDSL .....                            | 6   |
| <b>Tabla 1-3:</b> <i>Características de DBA, GEM Y ATM</i> .....            | 10  |
| <b>Tabla 1-4:</b> Parámetros normativa ITU-T G.984.2.....                   | 12  |
| <b>Tabla 1-5:</b> Splitter y pérdidas.....                                  | 16  |
| <b>Tabla 1-6:</b> Estandarización de la fibra óptica.....                   | 29  |
| <b>Tabla 2-1:</b> Requerimientos del servicio GPON.....                     | 36  |
| <b>Tabla 2-2:</b> Especificaciones ITU-T G.984.2 .....                      | 37  |
| <b>Tabla 2-3:</b> Parámetros de asignación de longitud de onda.....         | 41  |
| <b>Tabla 2-4:</b> Requerimientos generales de la red 10G-PON.....           | 41  |
| <b>Tabla 2-5:</b> Comparación de la red GPON y 10G-PON.....                 | 42  |
| <b>Tabla 2-6:</b> Cantidad de viviendas por zona.....                       | 44  |
| <b>Tabla 2-7:</b> Personas con un contrato de servicio triple play. ....    | 45  |
| <b>Tabla 2-8:</b> Grado de satisfacción del servicio contratado actual..... | 46  |
| <b>Tabla 2-9:</b> Problemas de red del servicio.....                        | 47  |
| <b>Tabla 2-10:</b> Clientes en adquirir el servicio triple play.....        | 48  |
| <b>Tabla 2-11:</b> Pagar una cantidad mayor por el servicio.....            | 49  |
| <b>Tabla 2-12:</b> Actualizar la red de internet en el cantón Guano.....    | 50  |
| <b>Tabla 2-13:</b> Recomendación del servicio por parte del cliente. ....   | 51  |
| <b>Tabla 2-20:</b> Atenuación total del usuario más cercano. ....           | 76  |
| <b>Tabla 2-21:</b> Atenuación total del usuario más lejano .....            | 78  |
| <b>Tabla 2-22:</b> Balance óptico del usuario más cercano .....             | 81  |
| <b>Tabla 2-23:</b> Balance óptico del usuario más lejano.....               | 81  |
| <b>Tabla 3-1:</b> BER-Factor Q – NAPs cercanas y lejanas.....               | 91  |
| <b>Tabla 3-2:</b> Inversión de la Red Troncal.....                          | 99  |
| <b>Tabla 3-3:</b> Inversión Red de distribución.....                        | 99  |
| <b>Tabla 3-4:</b> Inversión red de dispersión.....                          | 100 |
| <b>Tabla 3-5:</b> Inversión equipos Activos .....                           | 100 |
| <b>Tabla 3-6:</b> Inversión Total.....                                      | 100 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1-1:</b> Estructura xDSL.....  | 6  |
| <b>Figura 1-2:</b> Red Óptica Pasiva (PON) .....                                 | 7  |
| <b>Figura 1-3:</b> GPON.....   | 9  |
| <b>Figura 1-4:</b> Arquitectura típica GPON.....                                 | 11 |
| <b>Figura 1-5:</b> ONT   | 13 |
| <b>Figura 1-6:</b> Tipos de conectores.....                                      | 13 |
| <b>Figura 1-7:</b> Manga .....   | 14 |
| <b>Figura 1-8:</b> Herrajes para fibra óptica .....                              | 15 |
| <b>Figura 1-9:</b> Patch cord.....   | 15 |
| <b>Figura 1-10:</b> Pigtail .....  | 16 |
| <b>Figura 1-11:</b> Fotografía de FDB y FDF. ....                                | 17 |
| <b>Figura 1-12:</b> Fotografía de la roseta. ....                                | 18 |
| <b>Figura 1-13:</b> Arquitectura de redes ópticas FTTx.....                      | 19 |
| <b>Figura 1-14:</b> Arquitectura de redes ópticas FTTN .....                     | 20 |
| <b>Figura 1-15:</b> Arquitectura de redes ópticas FTTB .....                     | 20 |
| <b>Figura 1-16:</b> Arquitectura de redes ópticas FTTC .....                     | 21 |
| <b>Figura 1-17:</b> Arquitectura de redes ópticas FTTH.....                      | 21 |
| <b>Figura 1-18:</b> Topología de árbol. ....                                     | 22 |
| <b>Figura 1-19:</b> Transmisión downstream. ....                                 | 23 |
| <b>Figura 1-20:</b> Trama Upstream.....  | 23 |
| <b>Figura 1-21:</b> Trama general GPON.....                                      | 24 |
| <b>Figura 1-22:</b> Trama downstream.....  | 25 |
| <b>Figura 1-23:</b> Trama downstream.....  | 25 |
| <b>Figura 1-24:</b> Fibra Óptica.....  | 26 |
| <b>Figura 1-25:</b> Secciones de la Fibra monomodo. ....                         | 26 |
| <b>Figura 1-26:</b> Fibra monomodo. ....   | 26 |
| <b>Figura 1-27:</b> Sección de la Fibra multimodo. ....                          | 27 |
| <b>Figura 1-28:</b> Fibra multimodo de índice escalonado. ....                   | 27 |
| <b>Figura 1-29:</b> Fibra multimodo de índice escalonado. ....                   | 28 |
| <b>Figura 1-30:</b> Cables fabricados por SIECOR (Siemens/Corning Glasses). .... | 28 |
| <b>Figura 1-31:</b> Cables fabricados por PIRELLI - ALCATEL.....                 | 29 |
| <b>Figura 1-32:</b> Diagrama de ojo. ....  | 31 |
| <b>Figura 1-33:</b> Servicios Triple Play .....                                  | 31 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1-34:</b> Servicio de voz VoIP. ....   | 32 |
| <b>Figura 1-35:</b> OptSim .....   | 34 |
| <b>Figura 1-36:</b> OptiSystem.....  | 35 |
| <b>Figura 2-1:</b> Trama GPON en Downstream. ....  | 38 |
| <b>Figura 2-2:</b> Estructura del mapa de ancho de banda. ....                               | 38 |
| <b>Figura 2-3:</b> Trama GPON en Upstream. ....  | 39 |
| <b>Figura 2-4:</b> Asignación de longitud de onda. ....                                      | 40 |
| <b>Figura 2-5:</b> Zona Urbana del Cantón Guano.....   | 43 |
| <b>Figura 2-7:</b> Porcentaje de satisfacción del usuario.....                               | 47 |
| <b>Figura 2-8:</b> Porcentaje de problemas de red del servicio. ....                         | 48 |
| <b>Figura 2-9:</b> Porcentaje de clientes en adquirir el servicio triple play.....           | 49 |
| <b>Figura 2-10:</b> Porcentaje de clientes en pagar una cantidad mayor por el servicio. .... | 50 |
| <b>Figura 2-11:</b> Porcentaje de usuarios que desean una actualización en la red.....       | 51 |
| <b>Figura 2-12:</b> Porcentaje de clientes que recomendarían el servicio.....                | 52 |
| <b>Figura 2-13:</b> Arquitectura de la red GPON.....   | 52 |
| <b>Figura 2-14:</b> Topología de árbol. ....   | 53 |
| <b>Figura 2-15:</b> Lugar de instalación del equipo OLT.....                                 | 57 |
| <b>Figura 2-16:</b> Ubicación de las mangas porta splitter en el mapa.....                   | 58 |
| <b>Figura 2-17:</b> Red Troncal.....   | 59 |
| <b>Figura 2-18:</b> Salida OLT a Pozo. ....  | 60 |
| <b>Figura 2-19:</b> Nomenclatura cable Feeder.....   | 60 |
| <b>Figura 2-20:</b> Pozo PZ01 y Manga Troncal MT01.....                                      | 61 |
| <b>Figura 2-21:</b> Pozo PZ02 y Manga Troncal MT02.....                                      | 62 |
| <b>Figura 2-22:</b> Pozo PZ03 y Manga Troncal MT03.....                                      | 62 |
| <b>Figura 2-23:</b> Pozo PZ04 yManga Troncal MT04.....                                       | 63 |
| <b>Figura 2-24:</b> Pozo PZ05 y Manga Troncal MT05.....                                      | 64 |
| <b>Figura 2-25:</b> Pozo PZ06 y Manga Troncal MT06.....                                      | 64 |
| <b>Figura 2-26:</b> Red de Distribución. ....  | 65 |
| <b>Figura 2-27:</b> Ubicación de NAPs para la Manga MT01 en Google Earth. ....               | 67 |
| <b>Figura 2-28:</b> Ubicación de NAPs para la Manga MT02 en Google Earth. ....               | 68 |
| <b>Figura 2-29:</b> Ubicación de NAPs para la Manga MT03 en Google Earth. ....               | 69 |
| <b>Figura 2-30:</b> Ubicación de NAPs para la Manga MT04 en Google Earth. ....               | 70 |
| <b>Figura 2-31:</b> Ubicación de NAPs para la Manga MT05 en Google Earth. ....               | 71 |
| <b>Figura 2-32:</b> Ubicación de NAPs para la Manga MT06 en Google Earth. ....               | 72 |
| <b>Figura 2-33:</b> Red de dispersión. ....  | 73 |
| <b>Figura 2-34:</b> Modelo masivo – casas. ....  | 74 |
| <b>Figura 3-1:</b> Equipos utilizados en la simulación de la OLT .....                       | 83 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 3-2:</b> Configuración de Potencia .....                        | 83  |
| <b>Figura 3-3:</b> Configuración de Modulación sin retorno a cero.....    | 84  |
| <b>Figura 3-4:</b> Configuración de ODN .....                             | 85  |
| <b>Figura 3-5:</b> Configuración módulo fibra óptica de primer nivel..... | 86  |
| <b>Figura 3-6:</b> Configuración Fibra Óptica-distancia manga-ONT .....   | 86  |
| <b>Figura 3-7:</b> Etapa de recepción y transmisión de la ONT .....       | 87  |
| <b>Figura 3-8:</b> Configuración ONT visualización de la señal .....      | 88  |
| <b>Figura 3-9:</b> Análisis del espectro de la señal de datos/voz.....    | 89  |
| <b>Figura 3-10:</b> Análisis del espectro de la señal de video.....       | 89  |
| <b>Figura 3-11:</b> Resultado de la modulación. ....                      | 90  |
| <b>Figura 3-12:</b> Mínimo BER usuario cercano.....                       | 92  |
| <b>Figura 3-13:</b> Factor Q usuario cercano. ....                        | 92  |
| <b>Figura 3-14:</b> BER mínimo usuario lejano.....                        | 93  |
| <b>Figura 3-15:</b> Factor Q usuario lejano.....                          | 94  |
| <b>Figura 3-16:</b> Diagrama de ojo usuario cercano.....                  | 95  |
| <b>Figura 3-17:</b> Diagrama de ojo usuario lejano.....                   | 96  |
| <b>Figura 3-18:</b> Potencia en la ONT downstream.....                    | 97  |
| <b>Figura 3-19:</b> Potencia en la OLT upstream.....                      | 97  |
| <b>Figura 3-20:</b> Potencia en la ONT lejana downstream.....             | 98  |
| <b>Figura 3-21:</b> Potencia en la OLT upstream.....                      | 98  |
| <b>Figura 3-22:</b> Costo de servicio triple play CNT.....                | 101 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** FORMATO DE ENCUESTAS

**ANEXO B:** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA FIBRA ÓPTICA G.652

**ANEXO C:** SIMULACIÓN DE RED GPON

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

|              |  |
|--------------|--|
| <b>GPON</b>  | Red Óptica Pasiva con Capacidad Gigabit.         |
| <b>FTTH</b>  | Fibra Óptica hasta el Hogar.                     |
| <b>APON</b>  | Red Óptica Pasiva basada en ATM.                 |
| <b>BPON</b>  | Red Óptica Pasiva de Banda Ancha.                |
| <b>EPON</b>  | Red Óptica Pasiva Ethernet.                      |
| <b>OLT</b>   | Terminal Óptico de Línea.                        |
| <b>ODN</b>   | Red de Distribución Óptica.                      |
| <b>ONT</b>   | Equipo de Cliente.                               |
| <b>NAP</b>   | Caja de Distribución Óptica.                     |
| <b>ODF</b>   | Distribuidor de Fibra Óptica                     |
| <b>WDM</b>   | Multiplexación por División de Longitud de Onda. |
| <b>TDM</b>   | Multiplexación por División de Tiempo.           |
| <b>TDMA</b>  | Acceso Múltiple por División de Tiempo.          |
| <b>BER</b>   | Tasa de Bit Error.                               |
| <b>FTTB</b>  | Fibra Óptica en Edificios.                       |
| <b>FTTC</b>  | Fibra hasta la Acera.                            |
| <b>FTTN</b>  | Fibra al nodo o vecindario.                      |
| <b>VoIP</b>  | Voz sobre el Protocolo de Internet.              |
| <b>xDSL</b>  | Línea de Suscripción Digital                     |
| <b>PON</b>   | Red Pasiva Óptica.                               |
| <b>ATM</b>   | Modo de Transferencia Asíncrono.                 |
| <b>ITU-T</b> | Unión Internacional de Telecomunicaciones.       |

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue analizar el estándar G.984.x para el despliegue de una red de acceso de servicios triple play para la zona urbana del cantón Guano. Con una investigación de campo mediante encuestas se determinó la viabilidad de desarrollo del proyecto en este sector, se realizó una revisión bibliográfica acerca de la serie de recomendaciones que conforma el estándar en estudio, el despliegue del servicio de voz, datos e internet por redes de fibra óptica en la actualidad. Se diseñó la red GPON con dos niveles de división (splitter) implementando una arquitectura FTTH con topología en árbol la cual está compuesta por una red Feeder, red de distribución y red de dispersión la cual cumple con los parámetros físicos establecidos en la recomendación G.984.2 clase B+ determinado el balance óptico del enlace. Para validar el funcionamiento de la red se simuló con el *software* OptiSystem 7.0 la red GPON, considerando dos puntos críticos de estudio, el usuario más cercano y lejano a la OLT; en donde se evaluó la potencia de recepción, el factor Q, la tasa de bit errado BER y el diagrama de ojo que es un indicador que muestra la calidad del enlace en donde se pudo determinar que el ruido tiende a aumentar a medida que la distancia aumenta, el jitter y la apertura del ojo es aceptable porque la tasa de bit errado se encuentra dentro del valor establecido por la recomendación G.984.2. Se concluye que la red GPON diseñada es viable y convergente con los servicios de voz, video y datos. Por lo que se recomienda que el proyecto sea implementado debido a que se ofrece varios servicios por un mismo guiado y el periodo de recuperación de la inversión es baja.

**Palabras clave:** <FIBRA ÓPTICA>, <ESTÁNDAR>, <RED ÓPTICA CON CAPACIDAD DE GIGABIT (GPON)>, <FIBRA PARA EL HOGAR (FTTH)>, <RED FEEDER>, <RED DISTRIBUCIÓN>, <RED DISPERSIÓN>, <RED CONVERGENTE>, <SERVICIOS>.



Firmado electrónicamente por:  
**JHONATAN RODRIGO  
PARREÑO UQUILLAS**



4/02/2021  
0609-DBRAI-UPT-2021

## ABSTRACT

This research was aimed to analyze the G.984.x standard for deploying a triple-play service access network for the Guano canton's urban area. Field research through surveys determined the feasibility of developing the project in this sector. A literature review was carried out on the series of recommendations that form the standard under study, the deployment of the voice, data, and internet service by fiber optic networks at present. The GPON (Gigabit-capable passive optical networks) network was designed with two-division levels (splitter), implementing an FTTH (Fiber-to-the-home) architecture with tree topology composed of a feeder network, distribution network, and dispersion network, which complies with the physical parameters set out in recommendation G.984.2 class B+ determined the optical balance of the link. The GPON network was simulated with the OptiSystem 7.0 software to validate the network's functioning, considering two critical study points, the user closest and farthest from the OLT. The reception power, factor Q, the wrong bit rate BER, as well as the eye diagram which indicate the link's quality were evaluated, where it was possible to determine that noise tends to increase as the distance increases, jitter, and eye aperture is acceptable because the erroneous bit rate is within the value established by recommendation G.984.2. It is concluded that the designed GPON network is viable and convergent with voice, video, and data services. Therefore, it is recommended that the project is implemented because the same guide offers several services, and the investment recovery period is low.

**Keywords:** <FIBER OPTICS>, <STÁNDAR>, <GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORKS (GPON)>, <FIBER-TO-THE-HOME (FTTH)>, <FEEDER NETWORK>, <DISTRIBUTION NETWORK>, <DISPERSION NETWORK>, <CONVERGED NETWORK>, <SERVICES>.

## INTRODUCCIÓN

En estos últimos años en Ecuador se revoluciona las tecnologías de telecomunicaciones, el MINTEL (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información) está encargada de la diversificación y universalización de las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación), fomentando acciones de gran importancia para el desarrollo en las telecomunicaciones (MINTEL, 2016). Años atrás el país se encuentra desplegada alrededor de 60 mil kilómetros por fibra óptica, en el 2016 se incrementó en 30%, el cual permitió que la mitad de la población en Ecuador acceda a las TIC. (Ecuador Inmediato, 2015).

El incremento de la demanda para satisfacer las necesidades de mayor número de usuarios impulsa el desarrollo de tecnologías que abarcan mayores distancias. La resolución posibilita el acceso a distintos servicios con gran ancho de banda a los abonados situados a distancias en que la tecnología xDSL, (x línea de suscripción digital) no llega, debido a sus restricciones técnicas en contextos de funcionamiento (Abreu, 2009), por esta razón se adopta por la utilización de las tecnologías beneficiosas y topologías compatibles de redes FTTH (fibra óptica hasta el hogar por su traducción en español) (CNT EP, 2015).

Una red de Fibra óptica GPON (Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit por su traducción en español) con arquitectura FTTH permite mayores beneficios en transporte de información, mayor ancho de banda, servicios de internet, voz, video, televisión IP entre otras. A diferencia de las redes de cobre, la fibra óptica ofrece mayor seguridad en el manejo de información, mayor estabilidad, menor degradación de la señal, resistencia a ruidos e interferencias electromagnéticas, permitiéndole trabajar sin inconvenientes con altos niveles de tráfico de datos, contenidos multimedia y otros, de forma confiable y veloz, a través de una red conforme a normas y estándares establecidos. (Abreu, 2009),

Académicamente, se encuentran una diversidad de trabajos de investigación relacionadas a diseños infraestructuras ópticas FTTH, por consiguiente, este documento se analiza la norma G.984.x para el despliegue de una red de acceso de servicios triple play para la zona urbana del cantón Guano, proponiendo solución a problemas de la red actual con el fin de abastecer servicios de voz, video y datos.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

Es necesario realizar un análisis de los requerimientos del despliegue de la tecnología de acceso en Fibra Óptica, para proveer diferentes servicios a los moradores del cantón. En este caso la implementación de tecnología GPON con el uso de redes FTTH basado en los estándares que tiene el ITU G.984 por el cual se podrá establecer el diseño de la red de acceso que satisfaga la demanda de servicios de banda ancha en la zona urbana del cantón Guano de la provincia de Chimborazo, evaluando los marcos regulatorios, educativos, laboral y económico.

## **SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA**

- ¿El estándar ITU G.984.x es el adecuado para diseñar una red de acceso de servicios triple play?
- ¿La red de acceso actual en la zona urbana del cantón Guano es satisfactoria para los usuarios?
- ¿El análisis costo beneficio es factible para la implementación del proyecto?
- ¿Mediante la utilización de un software de simulación se puede evaluar puntos críticos de la red de acceso propuesta?

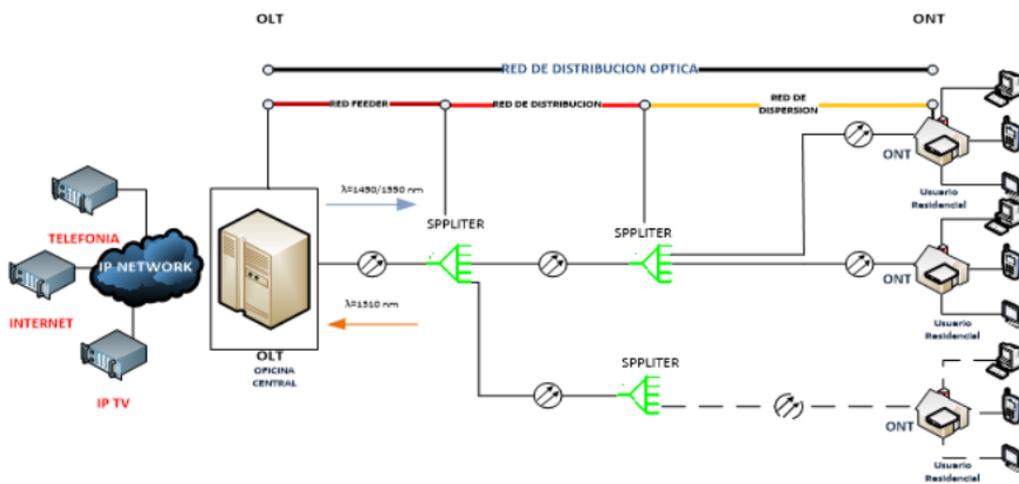
## JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.

La necesidad de implementar nuevos servicios y el constante crecimiento de la red en el cantón Guano han hecho que las empresas busquen un medio de transmisión que permita brindar nuevos servicios y mayor velocidad de transmisión a un menor costo.

La tecnología de fibra óptica sería la solución a estos problemas, gracias a la robustez que presenta y a su ancho de banda casi ilimitado, todas estas ventajas son ideales para implementar este tipo de redes ópticas que cumplan con el estándar G.984 siendo una solución técnica para realizar la migración en los sitios donde se dispone todavía de redes de cobre que actualmente es usado por un número de 1200 abonados de acuerdo a los datos proporcionados por CNT en la zona urbana del cantón Guano. Al ser Guano un polo de desarrollo que además cuenta con un significativo atractivo turístico es necesario que cuente con la opción de poder desplegar su crecimiento tomándolo en cuenta como una proyección futura.

## JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

El diseño propuesto básicamente tendrá tres etapas importantes que son la transmisión, el medio de distribución y el receptor el cual en esta imagen demostrativa se puede entender de forma rápida la idea del diseño que será nuestra red de acceso. La OLT será el encargado de transmitir los servicios que serán enviados por fibra óptica, la cual es la mejor opción para nuestra red de distribución, todo esto será recibido en la ONT que es un dispositivo que llega hasta el usuario y será capaz de proveer dichos servicios, todo este diseño será simulado en un software que permitirá medir puntos críticos de la red.



## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Analizar el estándar G.984.x para el despliegue de una red de acceso de servicios triple play para la zona urbana del cantón Guano.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el estudio del estándar ITU G.984.x. para diseñar una red de acceso de servicios triple play.
- Proponer el diseño de una red de acceso en la zona urbana del cantón Guano que permita brindar servicios triples play.
- Desarrollar el estudio de retorno de inversión técnico económico del proyecto.
- Evaluar puntos críticos de la red propuesta mediante software de simulación.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se estudia temas relacionados con la red GPON, servicio triple play, estructura física, normativas, estándares, parámetros.

#### Introducción

Hoy en día el avance de la tecnología de comunicación impulsa al incremento del uso de mayor número de usuarios y el aumento de servicios de banda ancha para satisfacer las necesidades de transmisión de datos en el menor tiempo. Se convierte en una razón para analizar el despliegue de una red de acceso de servicios triple play para la zona urbana del cantón Guano, mediante sistemas de fibra óptica con grandes beneficios.

#### 1.1 Redes de Acceso

Es el medio o segmento que permite la comunicación entre el punto de conexión final ubicado en instancia del abonado con infraestructura de comunicaciones hasta el primer equipo de la empresa contratada (Arguello y Burmeo, 2013). La red de acceso está constituida por tres elementos primordiales que se muestra en la Tabla 1-1:

**Tabla 0-1:** Elementos de una red de acceso

|  |   |
|--|---|
| <b>EQUIPOS DE TELECOMUNICACIONES</b>       | Acceso DSL (Digital Suscribe Line)      |
|  | Acceso MSAN (Multi-service Access Node) |
|  | Acceso óptico                           |
|  | Antenas                                 |
| <b>MEDIO FÍSICO</b>                        | Cable de cobre par trenzado             |
|  | Fibra óptica                            |
|  | Cable coaxial                           |
|  | Espacio libre/Aire                      |
| <b>EMPALMES Y DISPOSITIVOS INTERMEDIOS</b> | Empalmes de par trenzado                |
|  | Empalmes de fibra óptica                |
|  | Cajas de distribución                   |

Fuente: (Arguello y Burmeo, 2013)

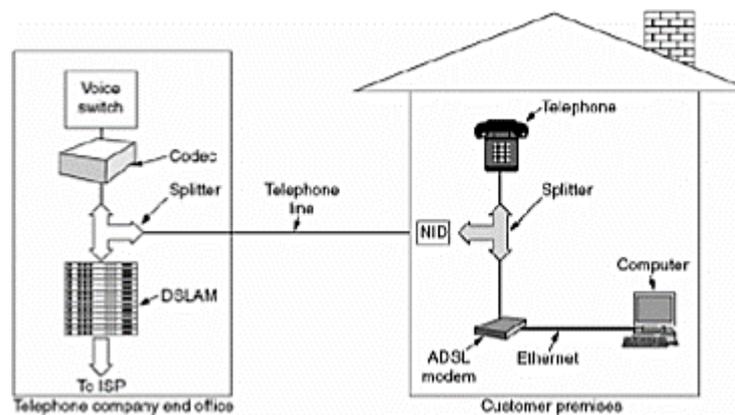
Realizado por: Morejón, Jayro; 2020

##### 1.1.1 Tipos de Redes de Acceso

Las más importantes redes de acceso son xDSL y Redes Ópticas.

### 1.1.1.1 xDSL (Digital Subscriber Line)

Las tecnologías xDSL realizan la conversión de líneas de cobre de par trenzado, a líneas digitales a altas velocidades, ofrece servicios de banda ancha a diversos clientes. La x sustituye distintas variantes, cada una depende del procesamiento de la señal, la distancia que alcanza, la velocidad, y tráfico (Copextel, 2001) , la infraestructura se muestra en la Figura 1-1.



**Figura 0-1:** Estructura xDSL

Fuente: (Arguello y Burmeo, 2013)

Los tipos de tecnología xDSL tiene múltiples variantes: HDSL, SDSL, SHDSL, ISDL, ADSL, VDSL (Copextel, 2001), considerando sus limitaciones de acuerdo a la distancia, velocidad, tráfico y aplicaciones mostradas en la Tabla 1-2.

**Tabla 0-2:** Tipos de tecnología xDSL

| Tecnología | Distancia máxima | Downstream/Upstream             | Tipo de tráfico      | Aplicaciones                           |
|------------|------------------|---------------------------------|----------------------|--|
| HDSL       | 3.5Km            | 2Mbps                           | Simétrico            | Para dar conectividad T1 y E1.         |
| SDSL       | 2.7Km            | 1.5Mbps                         | Simétrico            | Conectividad simétrica hasta 1.5Mbps   |
| SHDSL      | 6Km              | 2.3Mbps (1 par) 6Mbps (2 pares) | Simétrico            | Hasta 6Mbps, utilizando 2 pares        |
| ISDL       | 8Km              | 144Kbps                         | Simétrico            | En conjunto con ISDN                   |
| ADSL       | 3Km              | 8Mbps / 0.64Mbps                | Asimétrico           | Conectividad de internet doméstico     |
| ADSL 2     | 3Km              | 12Mbps / 1Mbps                  | Asimétrico           | Mejora de ADSL                         |
| ADSL 2+    | 3Km              | 24Mbps / 3Mbps                  | Asimétrico           | Mejora de ADSL2                        |
| VDSL       | 1Km              | 52Mbps / 26Mbps                 | Asimétrico           | Mejora de ADSL2+                       |
| VDSL 2     | 0.5Km            | 100Mbps / 100Mbps               | Simétrico/Asimétrico | Máximo desarrollo de estas tecnologías |

Fuente: (Tenecora Mejía, 2015)

Realizado por: Morejón, Jayro, 2021

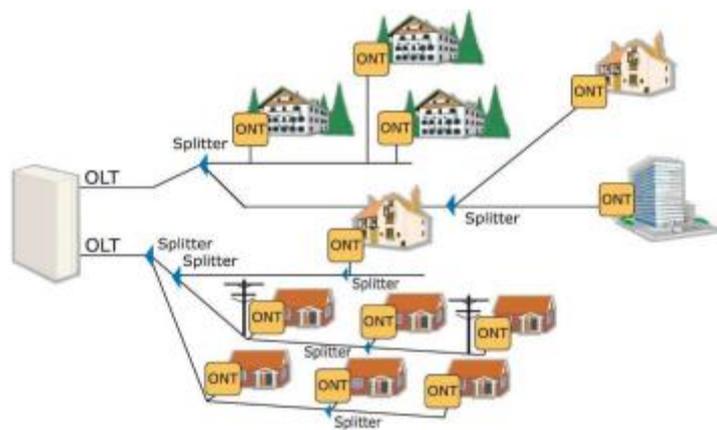
### 1.1.1.2 Redes Ópticas

Está compuesta de diversos nodos que emplean la transmisión de pulsos de luz de acuerdo con la información a enviarse, mediante un medio físico llamado fibra óptica, que está constituido por un hilo delgado de vidrio o plástico, tiene la ventaja de transmitir abundante información a enormes distancias y altas velocidades (Iza, 2011).

## 1.2 Redes ópticas pasivas (PON)

Es una estructura punto-multipunto que facilita la constitución de componentes activos y pasivos entre la empresa proveedora de servicio y el abonado o cliente, se reduce el costo mediante el uso de componentes ópticos pasivos como Divisores Ópticos o Splitter (García, 2015).

La red óptica pasiva llega a distancias más grandes con respecto a la tradicional red de cableado de par trenzado, debido a que no necesita de alimentación para la transmisión de datos, no es vulnerable a interferencias y no es necesario preocuparse de que tipo de cable se utiliza. En la Figura 1-2 se muestra la estructura de una red PON. Mucha gente se sorprende por el costo alto de la fibra con respecto al cobre, resulta que es económica a largo plazo (redeszone.net, 2020).



**Figura 0-2:** Red Óptica Pasiva (PON)

Fuente:(Tello, 2018)

Las redes ópticas pasivas se crearon en los años 90, debido a su evolución se clasifican en; APON, BPON, EPON, GEAPON, GPON.

### **1.2.1 APON**

Según (Ruiz, 2015) utiliza el estándar ATM para la transmisión de datos en la capa 2. La red tipo APON desarrollada por FSAN (Full Service Access Network) en 1998, se basa en una tasa de bits de 155.52 MBps (Cevallos y Richard, 2010).

### **1.2.2 BPON**

Se basa en las redes APON, de esta manera se mejora con el soporte de otros estándares de banda ancha, la tasa de transmisión simétrica que inicialmente fue de 155Mbps en la anterior versión, después aumento a 622Mbps, con desventajas de costos altos y limitaciones, acabando en 155Mbps de subida y 622Mbps de bajada. Se emplea WDM para un alcance de 20 Km, 1490nm para downlink, 1310nm para uplink y 1550nm para servicio de video, el tráfico es simétrico en ambos sentidos (Gomez y Morejon, 2012).

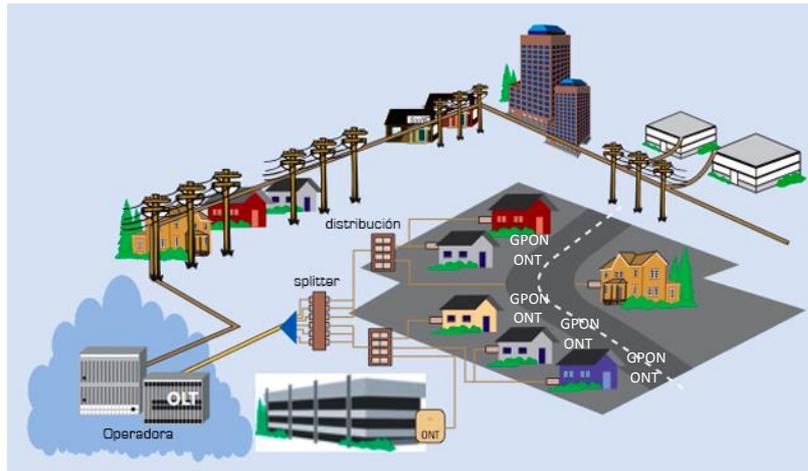
### **1.2.3 EPON**

Realizado por los científicos de EFM (Ethernet in the First Mile), se aprovecha las ventajas del despliegue de Ethernet, usa el estándar 8b/10b y la técnica de acceso al medio “full duplex”, con velocidades de 1.244Gbps a una distancia máxima de 20Km (Ruiz, 2015). La forma de trabajar es de dividir 1Gbps para el número de usuarios, que evidentemente si con 100 Gbps/100= 10Mbps se reduciría a 10Mbps por usuario. Para tener un alcance de 20 Km utiliza los mismos parámetros de multiplexación y longitudes de onda de BPON (Tenecora Mejía, 2015).

### **1.2.4 GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network)**

La “Red Óptica Pasiva con Capacidad Gigabit” es la evolución de versiones preliminares que ofrece ventajas sobre diferentes tecnologías y admite múltiples servicios (Voz, video e internet) de manera segura, permite conexiones de hasta 20Km, tiene ancho de banda muy grande y permite operar o dar mantenimiento más sencillo de manera remota. GPON puede alcanzar los 2.4 Gbps que por preferencia se usa velocidades de bajada son 2.48832Gbps y subida de 1.248832Gbps. Esta tecnología está sujeta a un conjunto de normas ITU-T G.984.x descritas en apartados (RAVENCORP, 2019).

El tráfico de información de bidireccional con longitudes de onda diferentes desde la OLT hacia la ONT y viceversa se muestra en la Figura 1-3.



**Figura 0-3: GPON**

Fuente: (García, 2015)

Las normas ITU-T G.984.x, donde x indica que existe distintas series de recomendaciones, las cuales determinan los parámetros de diseño que debe cumplir una red GPON en caso de ser certificada la red (Nikolai, 2016). A continuación, se describe la clasificación de la normativa:

- **ITU-T G.984.1** menciona las características generales de una red Gigabit PON, como por ejemplo: arquitectura, alcance, velocidades binarias, retardo de transferencia de la señal, velocidades independientes de protección y seguridad (ITU-T G.984.1, 2008).
- **ITU- T G.984.2** describe las redes de acceso flexible en fibra centrándose en los servicios que necesitan de un soporte de ancho de banda con velocidades de rangos de los gigabits/s, también se incluye servicios distributivos (ITU-T G.984.2, 2008).
- **ITU- T G.984.3** se refiere al formato de la trama, el método ranging, seguridad, método de control de acceso y funcionalidad OAM (Operation Administration and Maintenance), específicas para la capa TC (Transmission Convergence) (ITU-T G.984.3, 2008).
- **ITU- T G.984.4** describe la norma (ONCI) de la ONT para redes GPON, trabaja con una base de información de gestión (MIB), cubre el canal de gestión y control independiente del protocolo entre la OLT y ONT (ITU-T G.984.4, 2003).
- **ITU- T G.984.5** define un rango de longitudes de onda reservadas para señales de servicio mediante WDM, para maximizar un mejor manejo de las redes PON por las ODNs (ITU-T G.984.5, 2008).

#### 1.2.4.1 Protocolos utilizados en GPON

GPON utiliza tres protocolos de funcionamiento que son DBA, GEM y ATM. Las principales características se encuentran detalladas en la Tabla 1-3.

**Tabla 0-3: Características de DBA, GEM Y ATM**

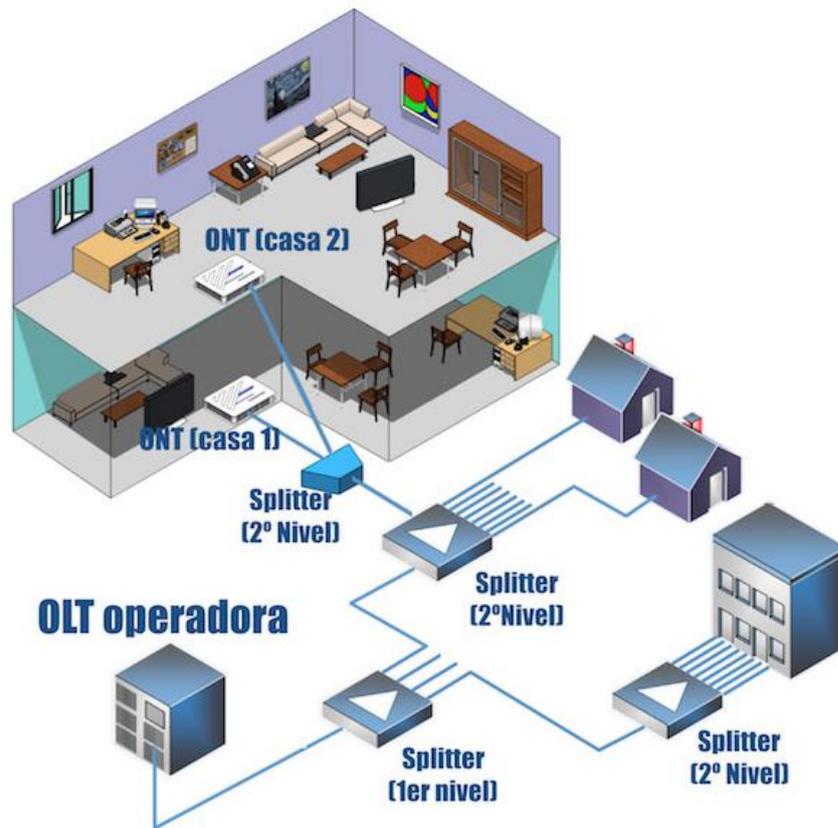
| <b>DBA</b>   | <b>GEM</b>   | <b>ATM</b>   |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>•Opera en la OLT para proveer la multiplicación</li> <li>•Mejora la eficacia del ancho de banda ascendente, ajustándolo dinámicamente entre las ONU en respuesta al requisito de tráfico de la ráfaga</li> <li>•Los operadores de red pueden agregar más suscriptores finales debido a la utilización muy eficiente</li> <li>•DBA permite SLA más flexibles para PON con grandes (es decir, 32) divisiones</li> <li>•Los suscriptores finales pueden disfrutar de servicios mejorados, como los picos de ancho de banda más allá de la asignación fija tradicional</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•El único esquema de transporte de datos en la capa de convergencia de transmisión G-PON</li> <li>•Está orientado a la conexión y que admite la fragmentación de las tramas de datos del usuario</li> <li>•Proporciona un mecanismo de trama de longitud variable orientado a la conexión para el transporte de servicios de datos</li> <li>•Es independiente del tipo de interfaz del nodo de servicio en la OLT, así como de los tipos de interfaces UNI en las ONU.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•Proporciona el ancho de banda dinámico que es particularmente adecuado para el tráfico en ráfagas.</li> <li>•Como todos los datos están codificados en celdas idénticas, la transmisión de datos es simple, uniforme y predecible.</li> <li>•El tamaño de paquete uniforme garantiza que el tráfico mixto se maneje de manera eficiente.</li> <li>•El encabezado de tamaño pequeño reduce la sobrecarga de paquetes, lo que garantiza un uso efectivo del ancho de banda.</li> </ul> |

**Fuente:** (Wang et al., 2001; ITU-T Study Group 15, 2008; Thakur, 218d. C.)

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

### 1.3 Elementos activos constitutivos de una red GPON

La arquitectura de Red GPON donde se muestran los elementos, en el cual está conformado, se muestra en la Figura 1-4 de a continuación.



**Figura 0-4:** Arquitectura típica GPON

Fuente: <https://naseros.com/wp-content/uploads/arquitectura-fibra-ftth-gpon.jpg>

### 1.3.1 OLT (Optical Line Terminal)

Este equipo se encuentra ubicado en la central del proveedor ISP, tiene interfaces con IP / MPLS, NGN, IMS, servidor de IPTV u otros, tiene tarjetas de hasta 8 puertos y está encargado de suministrar a 64 clientes máximo por medio cada puerto GPON, además interconecta la red ODN. Las OLT's tienen instaladas 16 tarjetas de 8 puertos dependiendo del proveedor, las antiguas 14 o 16 tarjetas con 4 puertos (Technopediasite.com, 2019).

### 1.3.2 ODN (Optical Distribution Network)

Es el medio de transmisión desde la OLT hasta la ONT/ONU con un alcance desde 20Km en adelante, también está conformada por splitters, cable de fibra óptico, conectores, caja de empalmes entre otros dispositivos ópticos pasivos (Medium.com, 2018). Se compone por la red troncal, red de distribución y red de dispersión las cuales pueden ser instaladas de manera aérea o canalizada (Tenecora Mejía, 2015).

- **Red Troncal:** Se despliega desde la ODF principal, situado en el cuarto del operador y está cerca de la OLT, hacia rutas planificadas. Los feeders son cables de fibra óptica monomodo con gran capacidad de hilos, en ciertas circunstancias de 288, 144, 96 y 48 hilos. La red troncal interconecta la OLT con la red de distribución en donde se encuentra un nivel de splitteo en un FDH (Fiber Distribution Hub) o en una manga.
- **Red de Distribución:** A continuación, se despliega de forma aérea o subterránea desde el FDH o la manga hasta las NAPs (Punto de acceso de red) o FDB (Caja de distribución óptica). En esta etapa se tienen menos capacidad de hilos de fibra óptica, en consideración al número de splitters. Finalmente, esta red interconecta la red de dispersión con la red troncal.
- **Red de Dispersión:** Abarca toda el área de diseño desde la NAP o FDB hasta los hogares de los usuarios finales, para lo cual se realiza un análisis del 80% de la demanda, y 20% para una demanda futura. Se recomienda una distancia hacia la acometida del cliente máximo de 120 m, y zonas rurales de 250m, sin embargo, en casos particulares pueden ser mayores en zonas rurales. El cable de fibra óptica tiene 2 hilos de capacidad.

#### 1.3.2.1 Parámetros de la ODN

Un buen diseño de la ODN debe cumplir con valores de umbral estandarizados por la ITU-T G.984, la que establece que el umbral máximo de trabajo de la OLT y ONT debe ser menor a 28dB. En la Tabla 1-4 se especifica los valores umbrales que se debe considerar a la hora del diseño de esta red.

**Tabla 0-4:** Parámetros normativa ITU-T G.984.2

| Parámetros               | OLT     | ONT      |
|--------------------------|---------|----------|
| Potencia min de emisión  | 1,5 dBm | +0,5 dBm |
| Potencia máx. de emisión | 5 dBm   | +5 dBm   |
| Sensibilidad min         | -28 dBm | -27 dBm  |
| Saturación de recepción  | ≥ 8 dBm | ≥ 8 dBm  |

Fuente: (ITU-T G.984.2;2019)

Realizado por: Morejón, Jayro, 2021

#### 1.3.3 ONT (Optical Network Terminal)

Es un equipo que convierte la señal óptica en una señal digital, el cual está situado en el hogar del cliente (orange.es, 2020). El equipo es capaz de suministrar servicios como telefonía fija, televisión, Internet ,entre otros (Carrera, 2016). Algunos tipos de ONT son: ONT-R, ONT-B, ONT-MDU, el

modelo básico con dos POST y 2 o 4 puertos Fast Ethernet (López et al., 2018). La Figura 1-5 muestra un modelo de ONT con dos antenas de CNT.



**Figura 0-5:** ONT

**Fuente:** (Carrera, 2016)

## 1.4 Elementos pasivos o de interconexión

En sistemas de fibra óptica se necesita el uso de elementos que mantenga la conexión de los dispositivos de la red de acceso. A continuación, se detalla los equipos más comunes.

### 1.4.1 Conectores de fibra óptica

Permite la conexión mediante un mecanismo mecánico entre dos fibras o con dispositivos activos y pasivos. Mayormente los conectores son de férulas de cerámica con un diámetro de 1.25mm o 2.5mm. Hoy en día, existe una variedad de conectores, se encuentran en los extremos del patchcord, el cual tenemos SC, FC, ST, LC, entre otros (Icoptiks, [sin fecha]), en la Figura 1-6 se muestran los tipos de conectores .



**Figura 0-6:** Tipos de conectores

**Fuente:** <https://silexfiber.com/tipos-conectores-fibra-optica/>

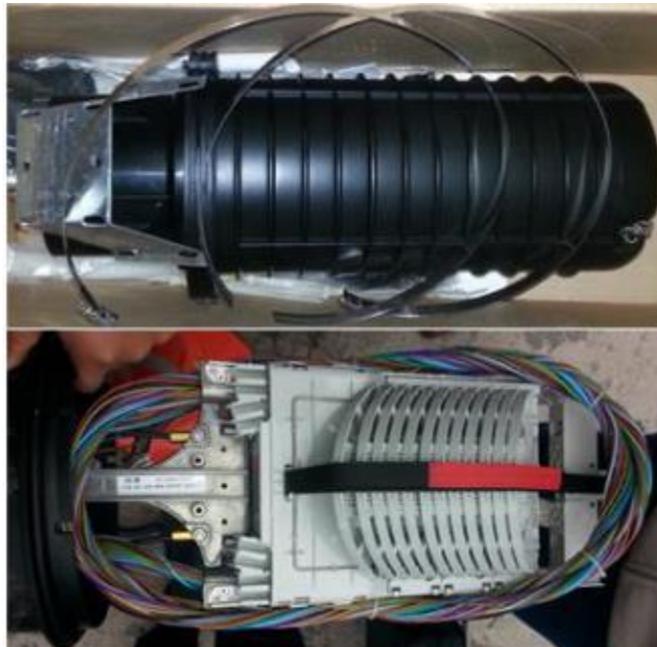
Según (SilexFiberTelecom, 2017) los tipos de conectores son los siguientes:

- Conector LC: tiene un tamaño medio con respecto de otros diferentes tipos (SC, ST, FC, etc.), está disponible en fibra óptica monomodo y multimodo, simplex o dúplex, con pulido PC o APC. El diámetro de su férula es de 1.25mm (+/- 0.05 %).

- Conector SC: es de tipo push-pull, housing de plástico, el diámetro de su férula de zirconio es 2.5 mm de diámetro (+/- 0.05 %)
- Conector FC: tiene un pulido tipo APC, férula de zirconia con diámetro de 2.5 mm (+/- 0.05 %), tuerca metálica para sujetar y posee una guía de sintonía fija.
- Conector ST: está disponible en fibra de tipo monomodo y multimodo, tiene conector de tipo pre-armado y posee una guía de sintonía fija.
- Conector E2000: es un conector de tipo pushpull, tiene una tapa que protege la férula (se abre o cierra), la férula de óxido de zirconia es de 2.5 mm de diámetro.
- Conector MTRJ: tiene seguro tipo rj45, dúplex, está disponible en fibra monomodo y multimodo, tiene versión macho y hembra.
- Conector MU: su acole es de tipo push-pull, la férula es de 1.25mm de diámetro (+/- 0.05 %), cubierta de 3mm, es de tamaño medio con respecto a SC.

#### 1.4.2 *Mangas*

Es un componente que sirve para conectar la fibra óptica de la salida de armario con la fibra de la red de distribución y se muestra en la Figura 1-7 (Carrera, 2016).



**Figura 0-7: Manga**

Fuente: (Carrera, 2016)

### 1.4.3 Herraje

Son accesorios de acero galvanizado que sujetan el cable de fibra óptica al poste estructura, existen dos tipos: herrajes terminales y de paso (Barrera, 2014), como se muestran en la Figura 1-8.

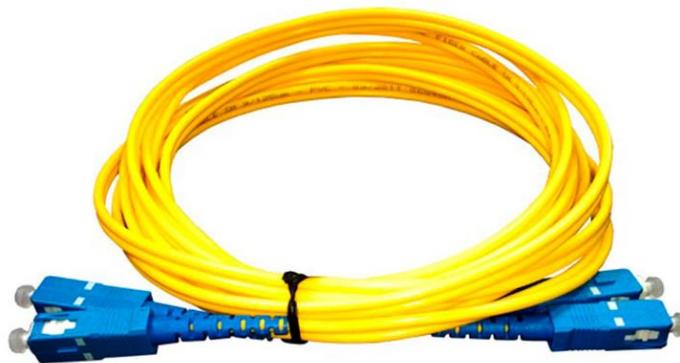


**Figura 0-8:** Herrajes para fibra óptica

**Fuente:** (Barrera, 2014)

### 1.4.4 Patch cord

También se llaman cables de fibra óptica de longitud corta entre 1 a 30m, como se observa en la Figura 1-9, sirven de interconexión de tipo simplex (una sola fibra) o dúplex (2 fibras) entre dispositivos activos, en sus extremos posee conectores instalados (Praxtel-Telecommunications, 2008).

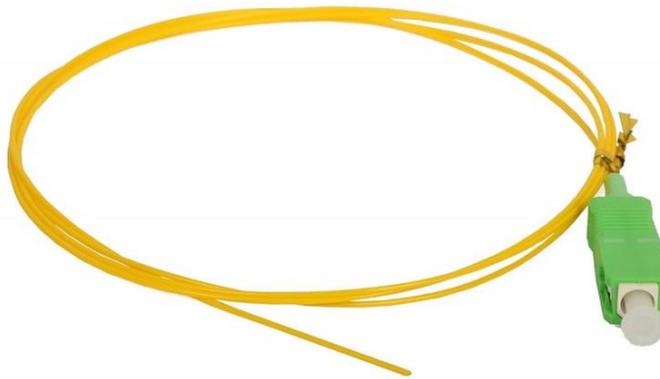


**Figura 0-9:** Patch cord

**Fuente:** <https://tecnit.com.ec/wp-content/uploads/2019/05/Patch-Cord-De-Fibra-Optica-Sm-Sc-upc-A-Sc-upc-9-125um-Dx-3mt.jpg>

### 1.4.5 Pigtail

Son cables de fibra óptica de longitud corta con solo un conector de tipo hembra o macho en un extremo, sirve de conexión con distribuidores y equipos mientras al otro extremo de empalma con la fibra óptica sin revestimiento (Icoptiks, [sin fecha]), como se muestra en la Figura 1-10.



**Figura 0-10:** Pigtail

**Fuente:** [https://fibrastore.com/227-thickbox\\_default/pigtail-sc-apc-2-m.jpg](https://fibrastore.com/227-thickbox_default/pigtail-sc-apc-2-m.jpg)

### 1.4.6 Splitters

Son dispositivos pasivos encargados de dividir la señal óptica en proporciones de 1:2 a 1:64, dependiendo de la topología de la red, además posee pérdidas que se muestra en la tabla 3-1, los divisores pueden ser ubicados en el cuarto del operario, en FDF o ODF, exteriores, interiores, recintos, hasta en un edificio en caso de múltiples viviendas (Technopediasite.com, 2019). Hoy en día existe una variedad de tipos de splitters de 1: N con sus respectivas pérdidas, las principales se muestran en la Tabla 1-5.

**Tabla 0-5:** Splitter y pérdidas.

| Standard splitter ratio | Max Loss | Typical Loss |
|-------------------------|----------|--------------|
| 1x2                     | 3.7 dB   | 3.1 dB       |
| 1x4                     | 7.3 dB   | 6.2 dB       |
| 1x8                     | 10.7 dB  | 9.8 dB       |
| 1x16                    | 13.5 dB  | 13.2 dB      |
| 1x32                    | 16.7 dB  | 16.5 dB      |

**Fuente:** (Technopediasite.com, 2019)

**Realizado por:** Morejón, Jayro, 2021

### 1.4.7 Acoplador

Los acopladores ópticos se usan para bifurcar o combinar señales ópticas. Usadas en redes públicas y privadas de fibra óptica estas brindan una distribución pasiva y unión de puntos para la transmisión de datos ópticos (ANON., 2013a).

#### **1.4.8 NAP (Network Access Point)**

La caja de distribución óptica permite conectar la red de distribución con cada uno de los abonados, su instalación puede ser de manera aérea o canalizada, también constan de puntos de prueba para realizar labores y mantenimiento (CNT,2014).

#### **1.4.9 FDH (Fiber Distribution Hub) o Armario óptico**

Son dispositivos ópticos de conexión entre la red feeder y distribución mediante el uso de splitters y se instalan en diferentes puntos estratégicos (Council Americas, 2016).

#### **1.4.10 FDB (Fiber Distribution Building), FDF (Fiber Distribution Floor).**

La red de distribución inicia con estos dispositivos, en donde se utiliza una fibra óptica G.652.D hacia la roseta óptica o la ONT en el hogar del abonado. La FDB es una caja ubicada al ingreso del edificio para conectar a la red troncal con la red interna del edificio. El FDF interconecta la red de distribución con la red de dispersión en el edificio (Pérez y Valeres, 2015). En la siguiente Figura 1-11 se muestra fotografías de FDB y FDF.



**Figura 0-11:** Fotografía de FDB y FDF.

**Fuente:** (Tenecora Mejía, 2015)

#### **1.4.11 Roseta óptica**

La red de fibra óptica llega a un punto de terminación que es la roseta óptica como se muestra en la Figura 1-12 se encuentra en el domicilio, que posteriormente se conecta a la ONT con el uso de patchcord SC/APC (Rodríguez, 2017) .



**Figura 0-12:** Fotografía de la roseta.

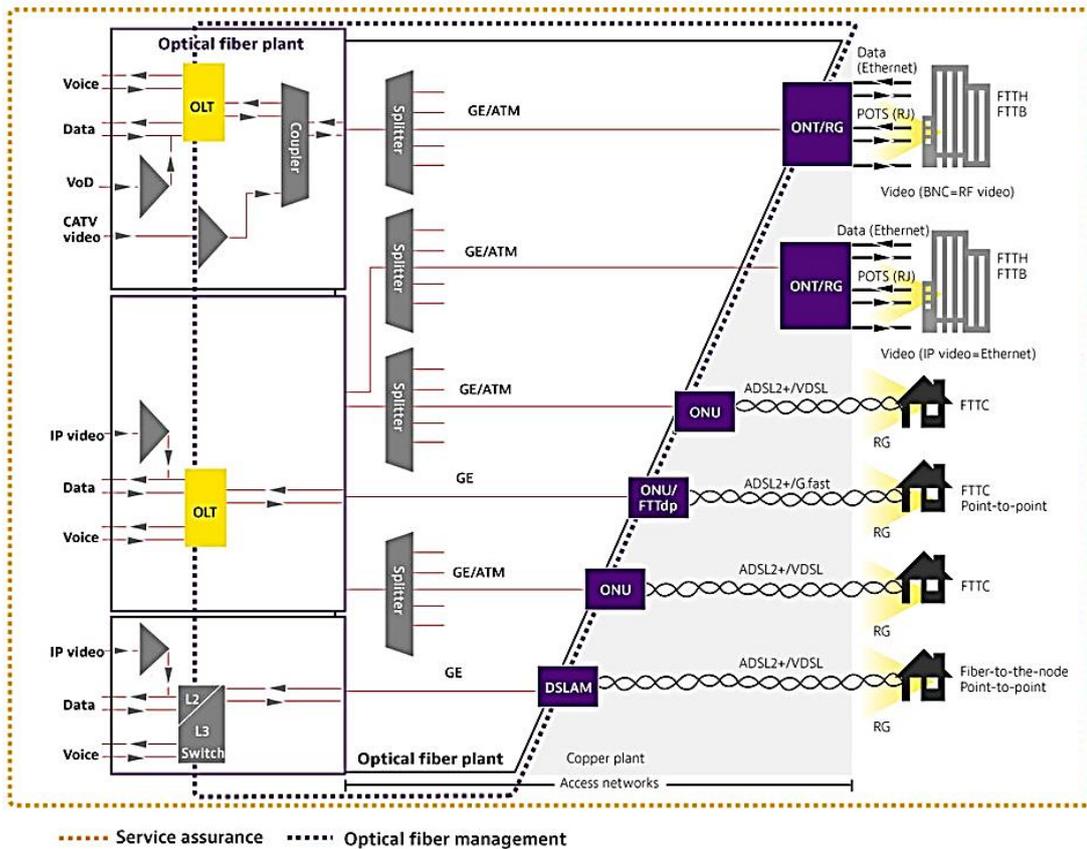
Fuente: <http://www.sirtel.com.ec/images/RO5.jpg>

#### **1.4.12 ODF**

Este equipo se encuentra en el cuarto del operador al inicio de la red troncal, permite la interconexión de hilos de fibra óptica G.652.D con los puertos PON del equipo; por un lado se emplea conectores SC-APC y por el otro extremo FC-APC (Rodríguez, 2016).

### **1.5 Arquitectura de redes ópticas: Redes FTTx**

Para generalizar algunas versiones se utiliza la letra x al final de FTTx, la cual nos indica el alcance de cobertura de la fibra óptica (Hipatia, 2015) como se muestra en la Figura 1-13.



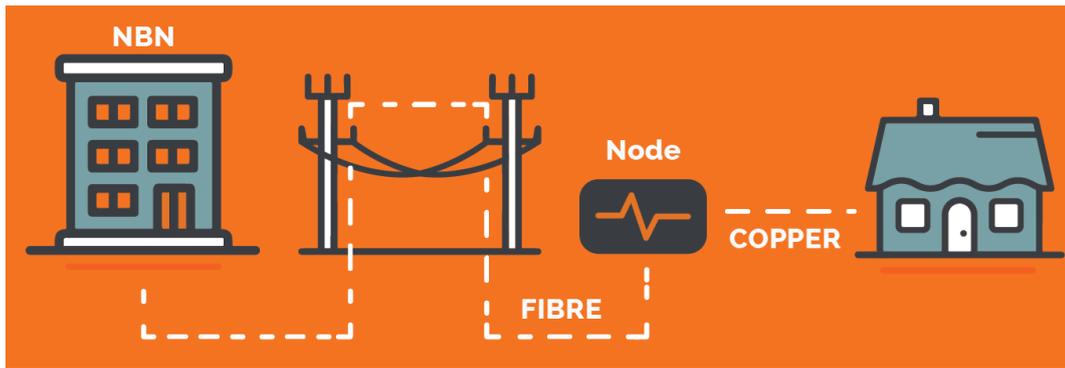
**Figura 0-13:** Arquitectura de redes ópticas FTTx

Fuente: <https://www.viavisolutions.com/>

A continuación, se detalla las arquitecturas FTTx.

### 1.5.1 FTTN

Es la tecnología que emplea la fibra hacia un nodo de conmutación o armario, el mismo que se encarga del servicio a los usuarios del sector cubierto por medio de par trenzado o coaxial. El servicio cubre un radio de 2,5 Km y puede contener centenas de usuarios (Pérez, 2012). Existen casos en que la fibra llega hasta un punto intermedio que distribuye el servicio en viviendas y edificios (Vallejo, 2013). En la Figura 1-14 se muestra la constitución de una red FTTN.

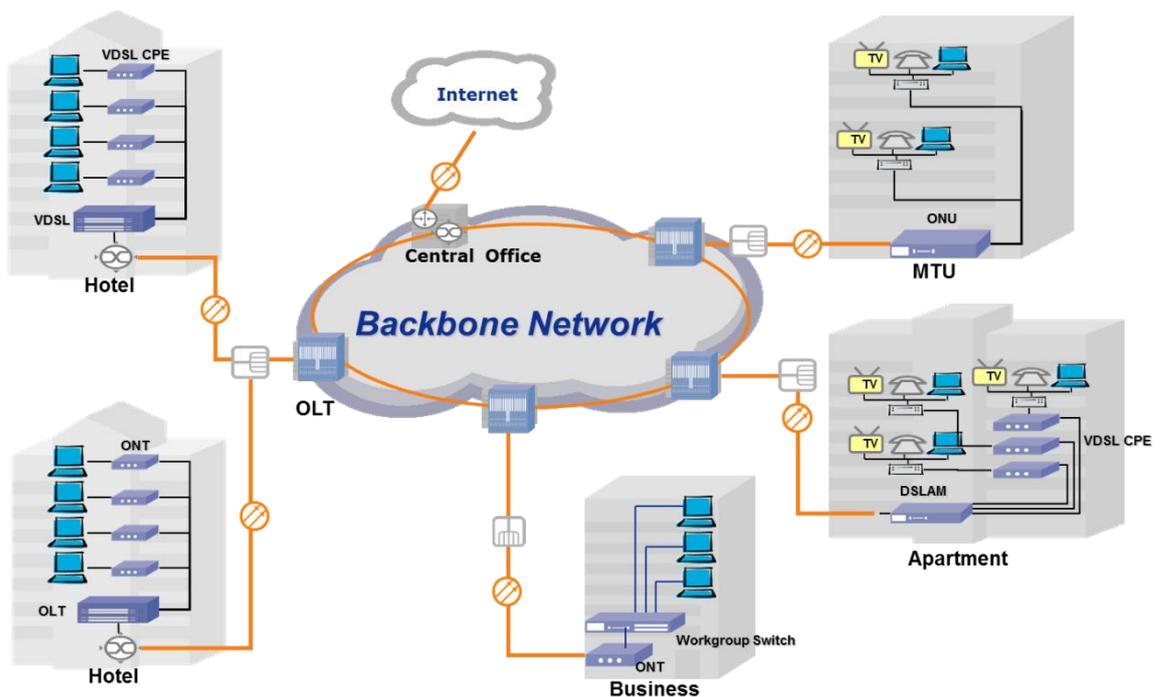


**Figura 0-14:** Arquitectura de redes ópticas FTTC

Fuente: [https://www.iselect.com.au/content/uploads/2018/08/FTTN\\_1.png](https://www.iselect.com.au/content/uploads/2018/08/FTTN_1.png)

### 1.5.2 FTTB

Es una arquitectura que ofrece el servicio de fibra óptica hasta el edificio, llega a un punto de distribución intermedio como se muestra en la Figura 1-15, para repartir a varios cuartos a través de cable de cobre o par tranzado, se utiliza una ONU como receptor. Este diseño es utilizado en grandes urbanizaciones, edificios empresariales, centros deportivos, complejos hoteleros, etc (Pavón, 2019).



**Figura 0-15:** Arquitectura de redes ópticas FTTB

Fuente: <http://www.corecess.com/files/attach/images/231/231/b1ed87d0a9a18325972e16ceb3f10213.png>

### 1.5.3 FTTC

Está constituida por fibra óptica y cobre, la fibra va desde el OLT en la central hasta un punto de distribución con una distancia máxima de 300m del abonado, y para llegar hasta el cliente la conexión es de cobre (Hipatia, 2015) como se muestra en la Figura 1-16.

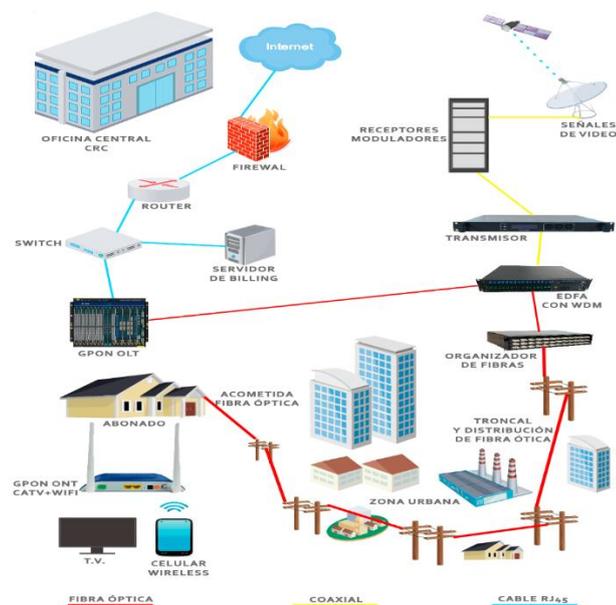


**Figura 0-16:** Arquitectura de redes ópticas FTTC

Fuente: <https://www.mondo3.com/wp-content/uploads/2019/07/infografica-FTTH-FTTC-881x648.jpg>

### 1.5.4 FTTH

Es la arquitectura de mayor uso actualmente con despliegue de fibra óptica hasta el hogar, donde la red totalmente está cubierta de fibra óptica, usa la topología de prototipo árbol, utiliza el equipo pasivo denominado splitter que divide la señal, hasta llegar la ONT de abonado, instalado en su domicilio (Hipatia, 2015). La arquitectura mencionada se muestra en la Figura 1-17.



**Figura 0-17:** Arquitectura de redes ópticas FTTH

Fuente: <https://rbacatv.com/wp-content/uploads/2018/02/DISE%C3%91O-FTTH.png>

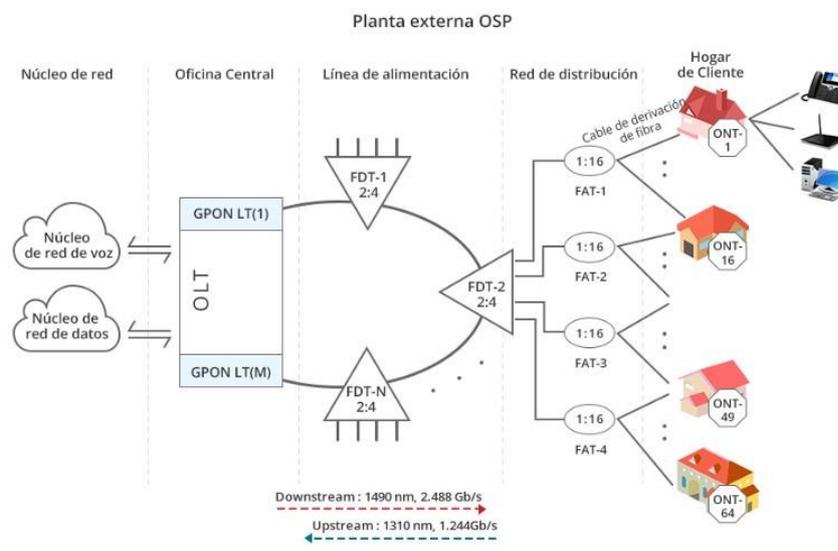
La OLT se despliega en una red feeder que es conectada por los splitters alojados en las FDH; se despliega la red de distribución que conecta a cada NAP, y, por último, a través de la red de dispersión, se comunica las NAP con la ONT de cada usuario (ELECTRITEL, 2018).

#### 1.5.4.1 Topología de árbol.

Este tipo de arquitectura maximiza la cobertura con un mínimo de divisiones de red, reduciendo así la potencia óptica (Medium.com, 2018). Una red de acceso FTTH consta de cinco áreas:

- Área de red central.
- Área de oficina central.
- Área alimentación.
- Área de distribución.
- Área de usuario.

En la Figura 1-18 se observa la topología de árbol de la red FTTH



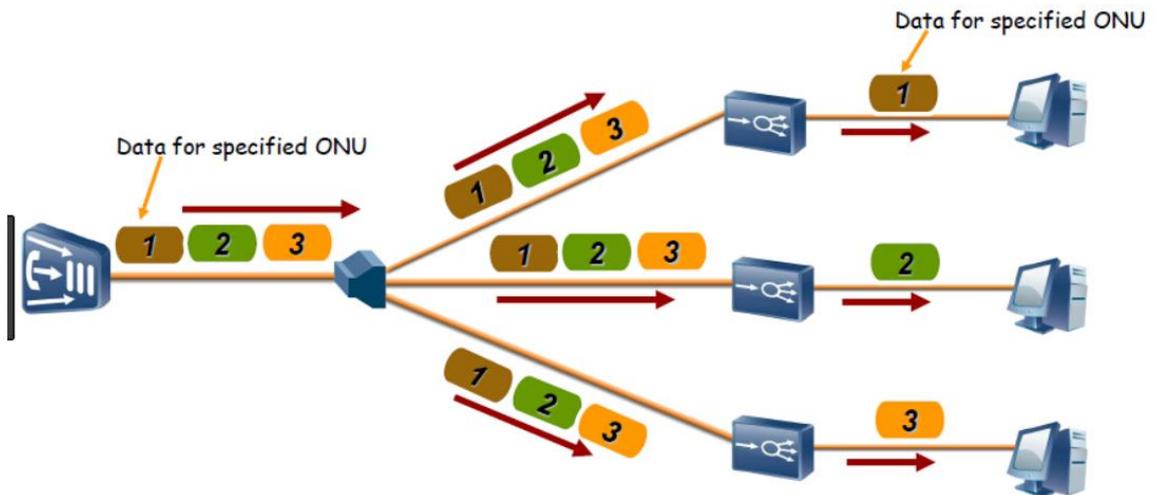
**Figura 0-18:** Topología de árbol.

Fuente: (Medium.com, 2018)

## 1.6 Envío de paquetes Downstream

El envío de información de modo Downstream, inicia desde el puerto de la OLT por medio de una fibra óptica que se divide a través de un splitter 1: N, estos datos se reparten por fibras ramificadas y son recibidos por la ONU a la cual están destinados. En cambio, cuando la

información no está destinada a una ONU, los datos son descartados (Huawei, 2018). En la Figura 1-19 se muestra el proceso de envío de datos en modo downstream.

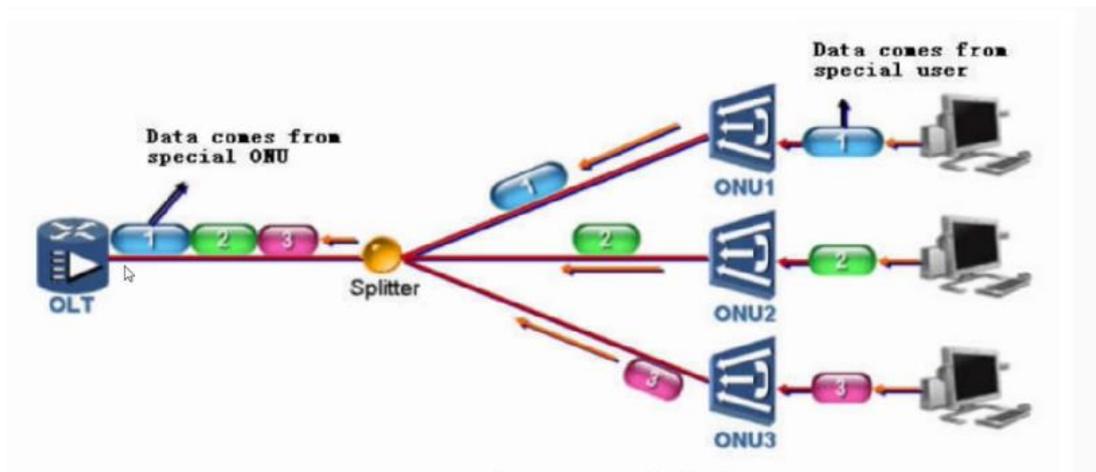


**Figura 0-19:** Transmisión downstream.

Fuente: <http://forum.huawei.com/enterprise/en/data/attachment/forum/201807/11/201109cw7wwfwj43lyvz33.png>

### 1.7 Envío de paquetes Upstream

La transmisión de las diferentes ONUs inicia desde la fibra óptica ramificada, los datos convergen después de pasar a través de los splitters, la multiplexación por división de tiempo (TDM) se utiliza para transmitir datos en distintos intervalos de tiempo. El intervalo de tiempo es asignado a cada ONU programado y autorizado por la OLT (Huawei, 2018). En la Figura 1-20 se muestra el proceso de envío de datos en modo upstream.

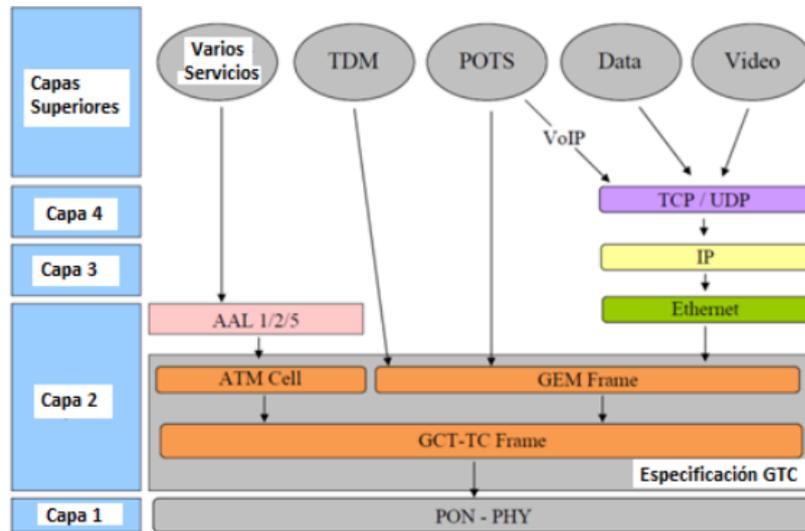


**Figura 0-20:** Trama Upstream

Fuente: <http://forum.huawei.com/enterprise/en/data/attachment/forum/201807/11/201247i5mnyjnn5mxnjmzh.png>

## 1.8 Formatos de tramas

La trama general en forma gráfica se muestra en la Figura 1-21.



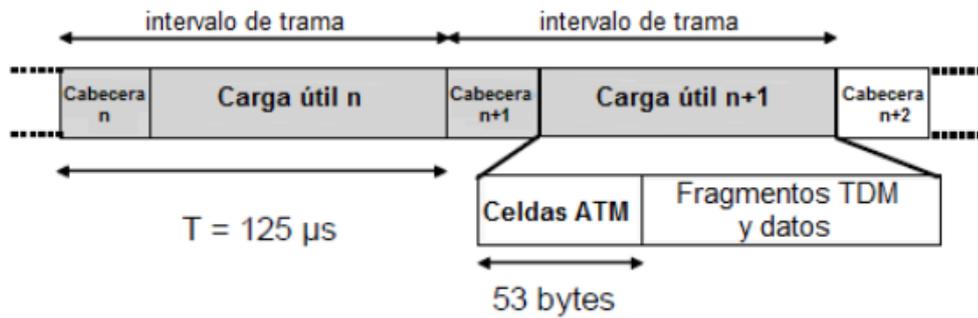
**Figura 0-21:** Trama general GPON

Fuente: (Zari, León y Bermeo, 2014)

En la Figura 1-21 se puede apreciar las distintas capas de manera similar al modelo OSI, que cumplen las siguientes funciones: La capa 1 cumple funciones de la capa física. La capa 2 con respecto a la subcapa GTC, realiza funciones de multiplexación/demultiplexación, decodificación del encabezado y encaminamiento interno en función del Alloc-ID. La capa 3 cumple funciones de la capa de red, la capa 4 se encarga del protocolo y encapsulamiento TCP/UDP, y las capas superiores a la de aplicación (Zari, León y Bermeo, 2014).

### 1.8.1 Downstream

La trama en dirección downstream está conformado por el encabezado y carga útil con una longitud variable, cada trama tiene un intervalo de tiempo de 125us, en la Figura 1-22 se muestra que la carga útil contiene celdas ATM, fragmentos TDM y datos (Camino, 2018).

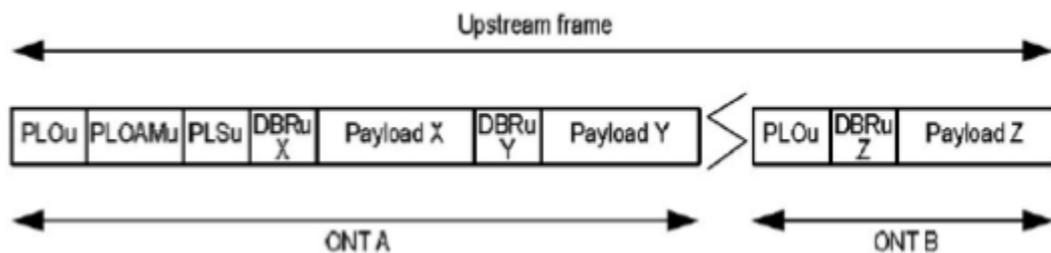


**Figura 0-22:** Trama downstream

Fuente: (Camino, 2018)

### 1.8.2 Upstream

La trama de upstream se compone por varias ráfagas de una o distintas ONT, se compone de bloques PLOu que es la capa física superior, carga útil, PLOAMu o capa física de operación, Administración Upstream, PLSu que es la secuencia de energía de nivelación Upstream y DBRu el Reporte de Ancho de Banda Upstream (Gomez y Morejon, 2012), como se observa en la Figura 1-23.

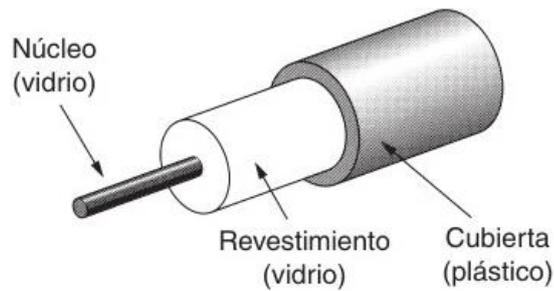


**Figura 0-23:** Trama downstream

Fuente: (Gomez y Morejon, 2012)

## 1.9 Fibra Óptica

Es un medio de transmisión que se encuentra en redes de telecomunicaciones, constituido por un hilo de vidrio o material plástico, el cual viajan los haces de luz dependiendo del tipo de información a enviarse. El haz de luz está confinado por una fuente de luz (laser o led) que se propaga por el núcleo de la fibra formando un ángulo de reflexión mayor al límite. Permiten enviar alta cantidad de datos a una dirección con gran distancia, esto es posible a la inmunidad a interferencias electromagnéticas y ruido (SENATI, 2014). A continuación, en la Figura 1-24 se muestra las partes de la fibra óptica.

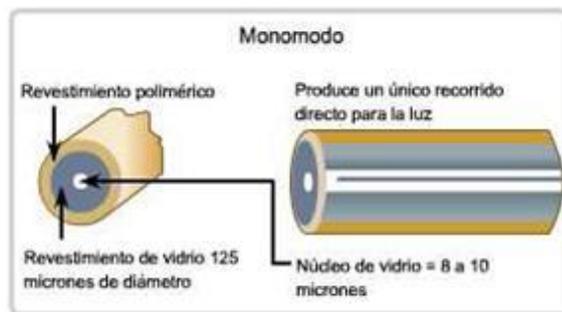


**Figura 0-24:** Fibra Óptica.

Fuente: [https://beberekaterina.files.wordpress.com/2015/08/fibra\\_optica\\_partes.jpg](https://beberekaterina.files.wordpress.com/2015/08/fibra_optica_partes.jpg)

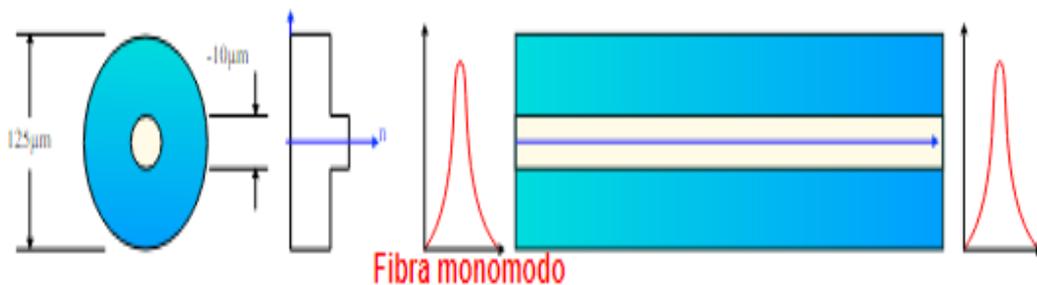
Existen dos tipos de fibra óptica según su forma de propagación: monomodo y multimodo.

**Monomodo:** Su núcleo varía entre 8µm y 10µm de diámetro como se muestra en la Figura 1-25, existiendo un único haz de luz de forma paralela, el ancho de banda es de 100GHz, alcanza grandes distancias sin necesidad de amplificadores, las pérdidas por propagación varían dependiendo la longitud de onda en la que trabaja para lo cual tenemos 0,7dB/Km en 1300nm y 0,2dB/Km en 1550nm. Un núcleo de diámetro menor da como resultado que los emisores de luz transmitan un rayo de luz demasiado precisa y estrecho (Rodríguez, 2012). En la figura 1-26 se muestra con mayor claridad de este acontecimiento.



**Figura 0-25:** Secciones de la Fibra monomodo.

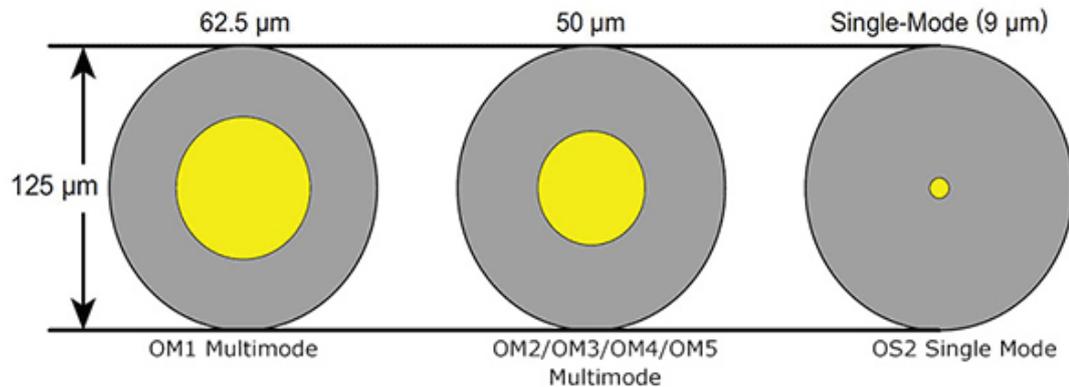
Fuente: <http://iris.hdplus.es/wp-content/uploads/2015/11/Figura-1.6.jpg>



**Figura 0-26:** Fibra monomodo.

Fuente: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2f/Fibra\\_optica.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2f/Fibra_optica.svg)

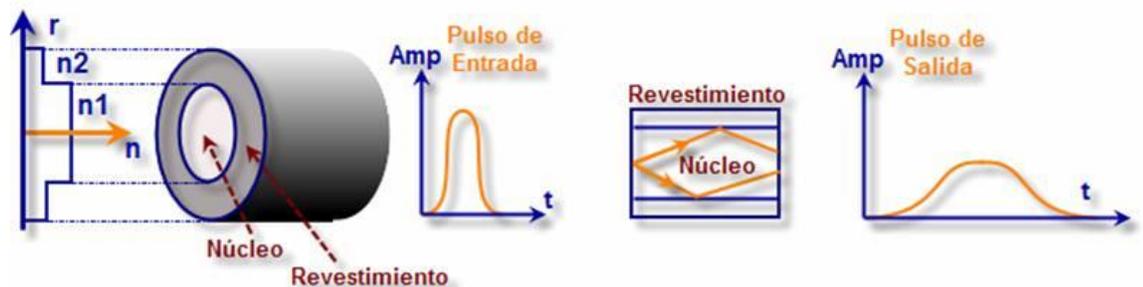
- **Multimodo:** El diámetro del núcleo típico varía entre 50um a 62,5um, facilitando el ingreso de varios haces de luz en distintos ángulos, inclusive se ha encontrado fibras de 100um y se lo muestra en la Figura 1-27 (Rodríguez, 2012).



**Figura 0-27:** Sección de la Fibra multimodo.

Fuente: [https://miro.medium.com/max/1400/0\\*Rj5COzCm\\_TNf0ctQ.png](https://miro.medium.com/max/1400/0*Rj5COzCm_TNf0ctQ.png)

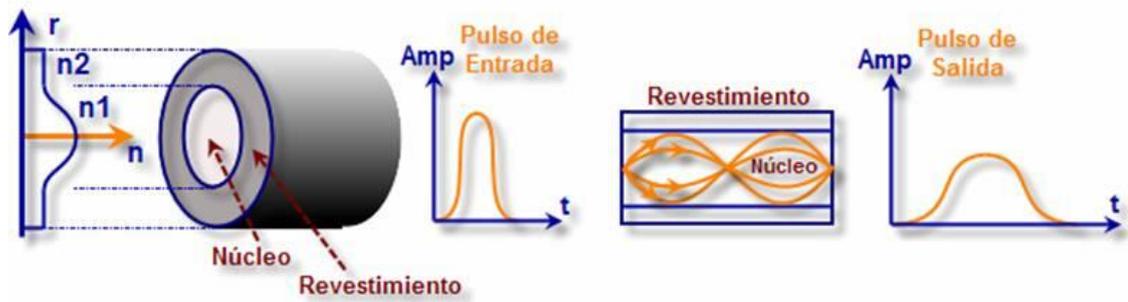
**Fibra multimodo de índice escalonado:** Tiene un Ancho de Banda entre 2 a 200 MHz/Km con calidad relativamente alta, el índice de refracción del núcleo es invariable y mayor que el del revestimiento como se muestra en la Figura 1-28 (Carvajal, 2014).



**Figura 0-28:** Fibra multimodo de índice escalonado.

Fuente: [ikastaroak.ulhi.net](http://ikastaroak.ulhi.net), 2020

**Fibra óptica de índice gradual:** Esta fibra tiene una banda que llega hasta 5 Mhz/Km, el índice de refracción en el núcleo es variable, el cual el haz de luz emitido se propaga presentando doblamientos continuos. La velocidad de los rayos de luz incrementa conforme se alejen del centro del núcleo, permitiendo que los rayos de modos bajos lleguen al mismo tiempo al otro extremo de la fibra con una disminución modal (Arturo, 2007). La representación de este proceso se puede observar en la Figura 1-29.



**Figura 0-29:** Fibra multimodo de índice escalonado.

Fuente: ikastaroak.ulhi.ne/, 2020

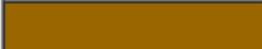
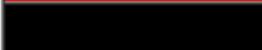
### 1.9.1 Códigos de colores

Las fibras se codifican de forma adecuada por el código de colores internacionalmente conocido como (TIA/EIA-598), para identificar el tipo de fibra óptica se identifica mediante diversos códigos dependiendo del fabricante como se muestra en la Figura 1-30 y Figura 1-31 (Schnitzler, [sin fecha]).

|  |              |
|--|--------------|
|  | 1 = VERDE    |
|  | 2 = ROJO     |
|  | 3 = AZUL     |
|  | 4 = AMARILLO |
|  | 5 = GRIS     |
|  | 6 = VIOLETA  |
|  | 7 = MARRON   |
|  | 8 = NARANJA  |

**Figura 0-30:** Cables fabricados por SIECOR (Siemens/Corning Glasses).

Fuente: (Schnitzler, [sin fecha])

|   |              |
|---|--------------|
|  | 1 = AZUL     |
|  | 2 = NARANJA  |
|  | 3 = VERDE    |
|  | 4 = MARRON   |
|  | 5 = GRIS     |
|  | 6 = BLANCO   |
|  | 7 = ROJO     |
|  | 8 = NEGRO    |
|  | 9 = AMARILLO |
|  | 10 = VIOLETA |
|  | 11 = ROSA    |
|  | 12 = CELESTE |

**Figura 0-31:** Cables fabricados por PIRELLI  
- ALCATEL

Fuente: (Schnitzler, [sin fecha])

### 1.9.2 Tipos de Fibra óptica según la ITU-T

Los estándares aprobados por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) tiene una clasificación cuyo comportamiento depende de los parámetros propios como la longitud de onda que trabajan, atenuación, tasas de transmisión, ventana de operación, tipo de propagación (Zambrano, 2017). En la Tabla 1-6 se muestra la clasificación de la fibra.

**Tabla 0-6:** Estandarización de la fibra óptica

| Estándar    | Tipo de propagación | Diámetro del núcleo y revestimiento | Longitud de onda de Tx | Atenuación | Radio de Macro curvatura |
|-------------|---------------------|-------------------------------------|------------------------|------------|--------------------------|
| ITU-T G.651 | Multimodo           | 50/245 $\mu\text{m}$                | 850/1310 nm            | 0.3 dB/Km  | 30mm                     |
| ITU-T G.652 | Monomodo            | 8 a 10/125 $\mu\text{m}$            | 1310/1550 nm           | 0.5 dB/Km  | 30mm                     |
| ITU-T G.653 | Monomodo            | 7.8 a 8.5/125 $\mu\text{m}$         | 1550 nm                | 0.35 dB/Km | 30mm                     |
| ITU-T G.654 | Monomodo            | 9.5 a 10.5/125 $\mu\text{m}$        | 1550 nm                | 0.22 dB/Km | 30mm                     |
| ITU-T G.655 | Monomodo            | 8 a 11/125 $\mu\text{m}$            | 1550/1625 nm           | 0.4 dB/Km  | 30mm                     |
| ITU-T G.656 | Monomodo            | 7 a 11/125 $\mu\text{m}$            | 1550/1625 nm           | 0.35 dB/Km | 30mm                     |
| ITU-T G.657 | Monomodo            | 8 a 7/125 $\mu\text{m}$             | 1310/1550 nm           | 0.4 dB/Km  | 30mm                     |

Fuente: (Zambrano, 2017)

Realizado por: Morejón, Jayro, 2021

## **1.10 Parámetros de Recepción**

Los parámetros que nos permitirá verificar la calidad del enlace se listan a continuación:

### ***1.10.1 Tasa de bits errados BER***

Es una medida cuantitativa de la calidad de la señal transmitida en sistemas de telecomunicaciones, el cual se obtiene de la relación entre el número de bits recibidos por error en un tiempo  $t$  y el número total de bits transmitidos en el mismo tiempo  $t$  (FiberOptics, 2020). La normativa ITU-T establece que la tasa de bit errado debe ser menor de  $10^{-10}$  (ITU-T G.984.2 2019).

### ***1.10.2 Factor Q***

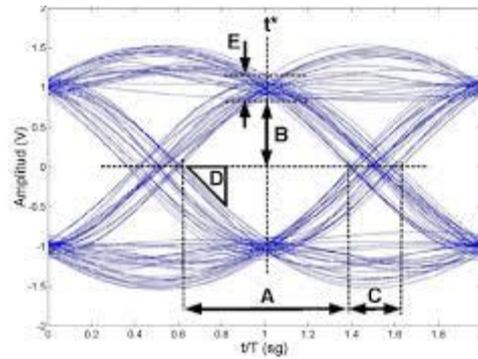
El factor de calidad es una medida para diagnosticar el nivel de ruido que tiene el pulso la señal. El factor  $Q$  es un parámetro clave encargada de evaluar el rendimiento de la comunicación en el canal y representa SNR óptico, mediante la relación señal/ruido es recomendable obtener un resultado mínimo (Burdah et al., 2019). La normativa (ITU-T G.984.2 2019) establece que el rango de calidad debe ser mayor o igual a seis.

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

Esta técnica se usa más a menudo en sistemas de equipos constituidos por circuitos lógicos, en esta señal se representa los bits por un nivel de voltaje, el 1 por un nivel positivo y 0 por ausencia de nivel (Navarro y Ballestas, 2003).

### ***1.10.4 Diagrama de ojo***

Es usado para el análisis de forma de ondas en comunicaciones de fibra óptica, indica la superposición de diferentes combinaciones de información digital (0s y 1s) en determinado tiempo que permite obtener características de los bits transmitidos que se propagan por medio de la fibra óptica (Dinamarca, 2002). Una gran apertura del ojo indica mayor tolerancia al ruido, jitter y mejor sensibilidad del receptor (Carmona; Montes; 2009). En la Figura 1-32 se muestra el Diagrama de ojo de forma gráfica.



**Figura 0-32:** Diagrama de ojo.

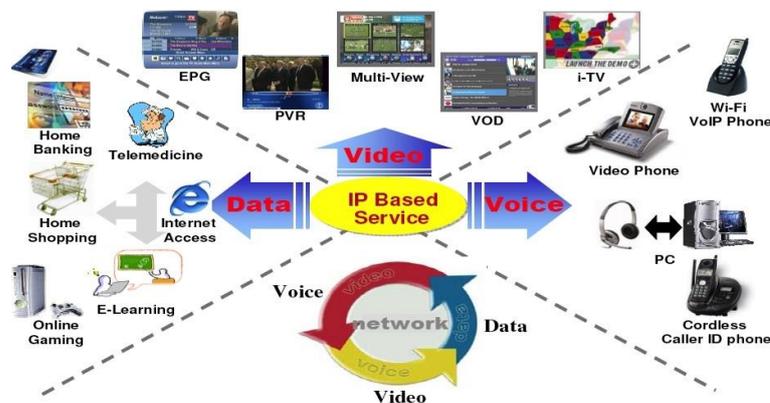
Fuente: <https://n9.cl/8gcmz>

### 1.10.5 Relación señal a ruido

Es una medida del nivel de calidad de la señal óptica en el sistema, medida obtenida de la relación entre el nivel de potencia óptica (dB) de la señal transmitida, y el nivel de potencia del ruido existente en (dB). La señal se reduce en la fibra óptica respecto a la distancia que recorre y exige asociar amplificadores para balancearse independientemente del ruido (Buelvas, Téllez y Mateus, 2010).

### 1.11 Servicio triple play

El avance de la tecnología de telecomunicaciones nos permite acceder a servicios de Internet de alta velocidad, telefonía fija y televisión digital de una manera más fácil que llega hasta el abonado, por medio de una infraestructura de acceso (Savando, 2014). La forma óptima de ofrecer servicios de banda ancha se realiza mediante fibra óptica, que garantiza gran velocidad, seguridad y calidad. La tecnología GPON permite llegar hasta el usuario y comercializar los servicios triples play, es decir voz datos y video como se muestra en la Figura 1-33.



**Figura 0-33:** Servicios Triple Play

Fuente: <https://www.panoramaaudiovisual.com/wp-content/uploads/2010/09/tangotec.jpg>

### **1.11.1 Voz sobre IP.**

Es la tecnología que permite la transmisión de voz sobre redes IP, de esta forma se realiza llamadas telefónicas mediante paquetes de datos, accesible desde una PC, puertos de enlace (Gateway) y teléfonos estándares, también permite ofrecer servicios como fax y mensajes de voz (Añazco Aguilar, 2013, pág. 14).

#### **Características principales de VoIP.**

Según (Matango, 2016) las principales características son:

- Permite el control el tráfico de la red, con el objetivo de la disminución de posibles caídas que afecta al rendimiento.
- Sin importar la red física o el hardware utilizado, el servicio es independiente.
- Permite la integración con redes IP de gran magnitud de IP.
- Permite ser implementado tanto en software como en hardware, con la particularidad de que el hardware supondría eliminar el impacto inicial para el usuario común.
- Permite la integración de Video y TPV.

En la Figura 1-34 se muestra de forma gráfica el servicio de VoIP.



**Figura 0-34:** Servicio de voz VoIP.

Fuente: (Matango, 2016)

### **1.11.2 Servicio de datos.**

El servicio de datos es un medio de comunicación muy ancho que comprende un gran número de servidores, redes y servicios diversos de ellos incompatibles entre sí, manejando diferentes protocolos. La arquitectura FTTH ofrece un servicio de banda ancha de alta velocidad ofertando las siguientes funciones (Carmona A.y S. Villanueva. 2008, Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones. 2008):

- Descarga de multimedia como música y videos de mayor calidad con una tasa de velocidad alta.
- Servicios de video juegos online, que tienen como requisito un gran ancho de banda por la complejidad del programa y cantidad de usuarios.
- Modernización y seguridad: encargado de supervisar y controlar instalaciones domóticas o industriales, en función de cámaras de grabación y puntos a controlar.
- Obtener líneas de datos privadas, incluso dentro del hogar.
- Mensajería instantánea y emails con envío de grandes cantidades de información por las redes sociales como Facebook, Twitter, Skype, Yahoo!, Outlook.
- Acceso a información de manera rápida y eficaz.

### **1.11.3 Video**

La arquitectura FTTH permite desplegar el servicio de video, lo cual es una metodología nueva para los usuarios y que causa mayor énfasis por parte de las operadoras, los más importantes son los siguientes (Carmona A.y S. Villanueva. 2008, Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones. 2008):

:

- SDTV (video de definición estándar sobre IPTV). Para desplegar este servicio se requiere de una velocidad mínima de 1.5 Mbps.
- HDTV (video alta definición sobre IPTV). Para la comprensión/codificación del video se utiliza la codificación MPEG-, para lo cual se requiere una velocidad de 7,5 Mbps y 10Mbps.
- VoD (video bajo demanda), es la solicitud del contenido multimedia por parte del usuario al proveedor, tales como películas, programas de televisión, etc. También le permite pausar y reanudar el contenido.
- PPV (servicios de pago por sesión por evento). La modalidad de servicio de televisión mediante pago, el abonado debe pagar por los eventos adicionales (deportivos, películas de estreno, conciertos musicales, etc.) de manera individual.
- Utilización de 4 servicios diferentes en un hogar con un consumo de hasta 14Mbps.

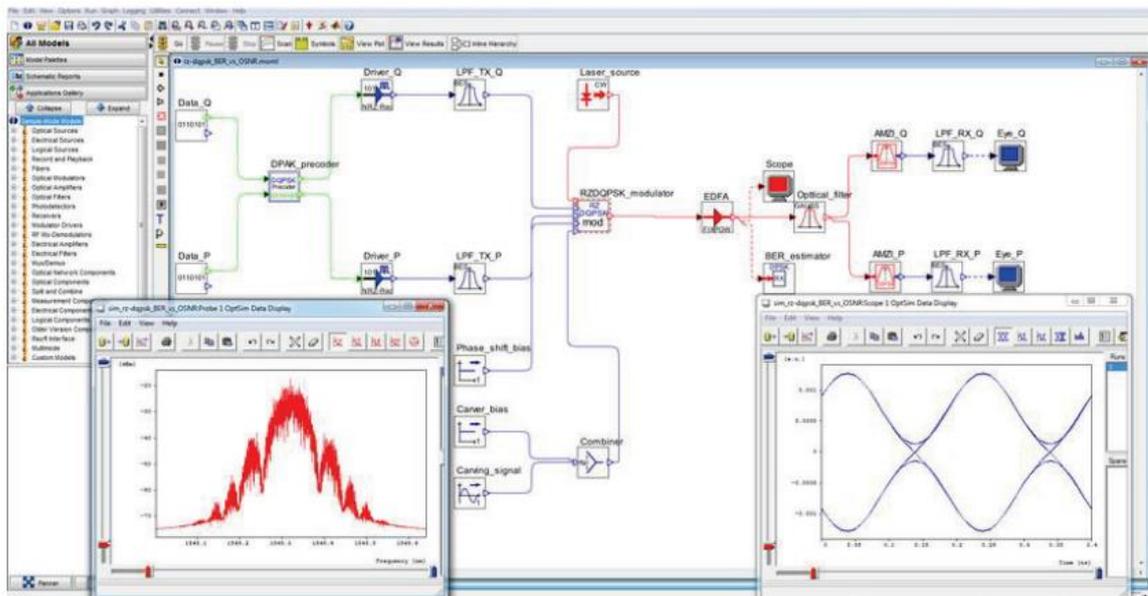
- Video conferencia de alta calidad, que permite transmitir mayor cantidad de imágenes con una resolución y calidad de audio superior a la televisión convencional.
- Educación a distancia: permite a los estudiantes asistir a clases sin necesidad de moverse a las instituciones.
- Telemedicina: permite diagnosticar al paciente sin necesidad de moverse hacia los centros de salud o consultorio del doctor.
- Servicio de Radio.

### 1.12 Software de redes ópticas.

En la actualidad existen varios *softwares* para la simulación de redes ópticas la cual nos da la facilidad de evaluar, diseñar e implementar sistemas ópticos.

#### 1.12.1 OptSim

Es un software creado por RSoft que permite realizar sistemas de comunicaciones ópticos mediante un interfaz amigable, ofrece similitud de operación de los instrumentos de laboratorio, provee distintos componentes en la biblioteca y algoritmos con resultados más exactos (Colinba, 2018). En la Figura 1-35 se muestra el programa Optsim.



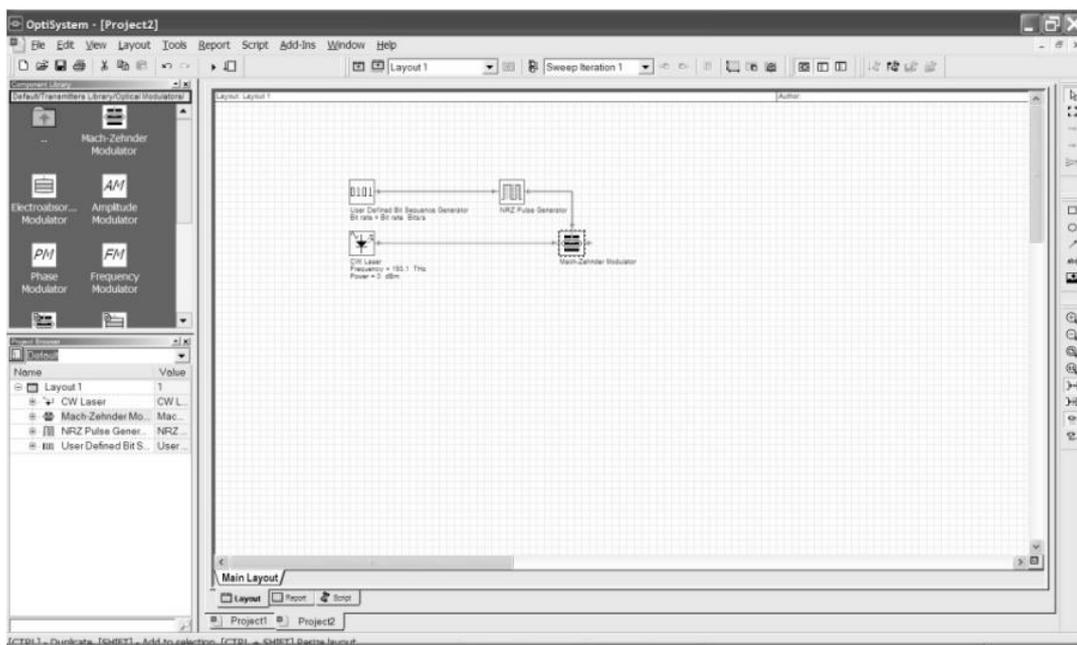
**Figura 0-35:** OptSim

Fuente: <https://n9.cl/qf0s>

### 1.12.2 OptiSystem.

Es un *software* completo de simulación de sistemas de comunicación óptica, que permite diseñar, probar y simular diferentes redes ópticas en la capa física, la simulación a nivel de sistema es muy eficaz, contiene una cantidad de herramientas flexibles y eficientes, y permite la personalización de componentes. La interfaz gráfica contiene una amplia librería de componentes ópticos (activos y pasivos) con parámetros característicos inmensamente relistas y presentaciones gráficas (Cajamarca, 2017). La Figura 1-36 muestra el entorno de simulación del *software*. Según (Zambrano, 2017) este programa permite realizar o simular diferentes escenarios, como los de a continuación:

- Redes ópticas pasivas basadas en FTTx.
- Diseño de las redes de CATV o TDM/ WDM.
- Visión de próximas redes con modificaciones en unos sistemas establecidos.
- Amplificadores, receptores y transistores.
- SONET Y SDH de redes en anillo.
- Simulación de sistemas ópticos (redes).
- Sistema Free Space Optic (FSO).



**Figura 0-36:** OptiSystem

**Fuente:** (del Río y del Río, 2016)

## CAPÍTULO II

### 2. ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR ITU G.984.X

En el presente capítulo se realiza el análisis del estándar G984.X, el diseño de red para brindar el servicio Triple Play en la zona urbana del cantón Guano para lo cual se describe el tipo de investigación, descripción de la ubicación geográfica, topología, selección de equipos activos, ubicación de los equipos y el diseño físico de la red de acceso.

#### 2.1 Estándar ITU-T G.984.X

Es una recomendación muy amplia que sirve de apoyo en las bases del diseño y certificación de topologías GPON, también proporciona un criterio amplio que busca optimizar los recursos como elementos pasivos, además de proyectar diseños ideales para evitar trabajos después de la construcción (ITU-T, 2011). A continuación, se detalla la clasificación de este estándar.

##### 2.1.1 ITU-T G.984.1

La red GPON debe ser capaz de soportar varios servicios. En la Tabla 2-1 se muestra los principales requerimientos de servicio establecidos por esta normativa.

**Tabla 0-7:** Requerimientos del servicio GPON

| Parámetros       | Normativa    | Requerimientos   |
|------------------|--------------|--|
| Servicios        | ITU-T G984.1 | 10/100 Base-T Ethernet, ATM, E1, E3, TDM, SDH.   |
| Velocidad        | ITU-T G984.2 | Bajada: 1.244-2.488 Gbps; Subida: 155 Mbps - 622 Mbps; 1.244-2.488 Gbps.                                     |
| Longitud de Onda | ITU-T G984.2 | Video: 1550-1660 nm en downstream.<br>Voz y datos: 1480 – 1500 nm en downstream; 1260 – 1360 nm en upstream. |
| Divisiones       | ITU-T G984.2 | Máximo 64.   |
| Distancia        | ITU-T G984.2 | 10 – 20 Kilómetros.  |
| Conmutación      | ITU-T G984.3 | Full redundante 1+1; protección 1:N redundante parcial.  |
| Seguridad        | ITU-T G984.3 | Implementación de protocolos de seguridad de la información por ejemplo AES.                                 |

Fuente: (ITU-T G984.1, 2008)

Realizado por: Morejón, Jayro, 2021

### 2.1.2 ITU-T G.984.2

En esta recomendación se describe los parámetros de la capa física para la red GPON. La Tabla 2-2 muestra las especificaciones que debe cumplir la red GPON.

**Tabla 0-8:** Especificaciones ITU-T G.984.2

| Parámetros                               | Requerimientos  |
|--|---|
| <b>Velocidad</b>                         | Downstream: 1.244-2.488 Gbps; Upstream: 155 Mbps - 622 Mbps; 1.244-2.488 Gbps.  |
| <b>Tasa de bit error BER</b>             | $< 10^{-10}$  |
| <b>Clase Óptica</b>                      | Clase A: 5-20 dB.<br>Clase B: 10-25 dB.<br>Clase C: 15-30 dB.<br>Clase B+: 13-28 dB (Enmienda 1, 2006)<br>Clase C+: 17 – 32 dB (enmienda 2, 2008) |
| <b>Codificación</b>                      | Non-return to zero (NRZ).   |
| <b>Potencia min. de emisión clase B+</b> | OLT: 1.5 dBm; ONT:0.5 dBm   |
| <b>Potencia máx. de emisión clase B+</b> | OLT: 5 dBm; ONT: 5 dBm  |
| <b>Sensibilidad min clase B+</b>         | OLT: -28 dBm; ONT: -27 dBm.   |

Fuente: (ITU-T G984.1, 2019)

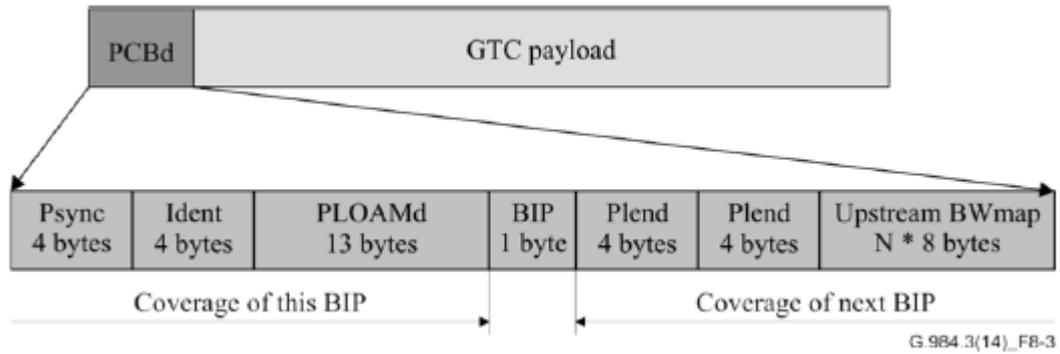
Realizado por: Morejón, Jayro, 2021

### 2.1.3 ITU-T G.984.3

Esta recomendación nos indica acerca de la capa convergente de transmisión, en donde se abarca la trama GPON, el protocolo de control de acceso al medio, procesos de operación y mantenimiento, encriptación de la información (ITU-T G984.3,2014).

#### 2.1.3.1 Trama GPON en downstream

La trama GPON tiene una periodicidad de 125 us, se compone de un bloque control de capa física PCB y un payload GTC como se muestra en la Figura 1-1, este payload usa el método de encapsulación GPON (GEM). La capa física es administrada y controlada por el PCB, el cual contiene la información de encabezamiento (ITU-T G984.3,2014).

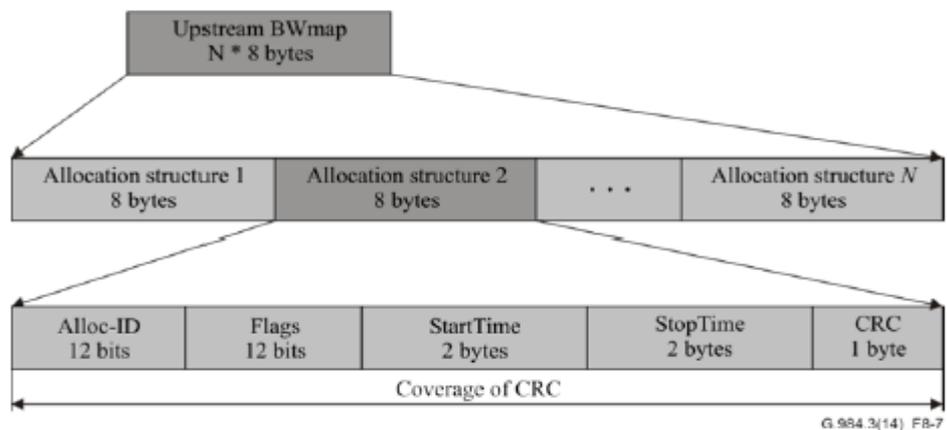


**Figura 0-37:** Trama GPON en Downstream.

Fuente: (ITU-T G984.3, 2014)

Las funciones de cada campo que conforma el PCB como se muestra en la Figura 2-1 se detalla a continuación (ITU-T G984.3,2014):

- Campo de sincronización de 4 bytes.
- Segmento IDENT de 4 bytes: se compone de un contador de 8 KHz, un bit de estado FEC en downstream, un bit de conversión de la clave de encriptación y 8 bits reservados para usos futuros.
- 13 bytes del mensaje OAM para capa física, la cual administra las alarmas relacionadas con la operación y mantenimiento o las alertas de sobrecarga.
- 1 byte de la paridad de bit intercalado, usado para estimar la tasa de bit errados.
- PLend (longitud de payload) de 4 bytes en downstream: da la longitud del ancho de banda del mapa en upstream y el tamaño del segmento ATM, este campo se envía dos veces con la finalidad de obtener redundancia y robustez frente a errores.
- Existe un segmento de  $N*8$  bytes, el cual asigna ranuras de tiempo para la transmisión de las ONTs del mapa del ancho de banda en upstream. En la Figura 2-2 se muestra la estructura del mapa de ancho de banda.



**Figura 0-38:** Estructura del mapa de ancho de banda.

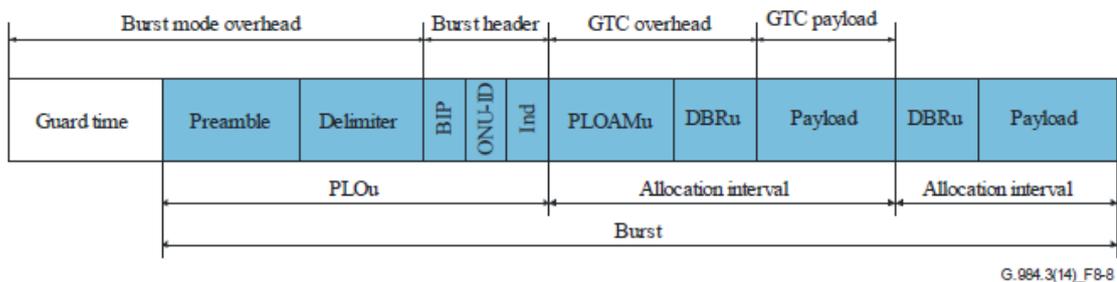
Fuente: (ITU-T G984.3, 2014)

A continuación, se realiza una breve descripción de la Figura 2-2 (ITU-T G984.3,2014):

- Alloc-ID con 12 bits de identificación de cada ONT. Este campo identifica la ONT correspondiente cuando se transmite.
- Campo Bandera con 12 bits: transmite en upstream de la capa física sobre la cabecera de una determinada ONT.
- Start time con 2 bytes: nos muestra el tiempo del slot en que la ONT identificada por el Alloc-ID inicia su transmisión en upstream, este tiempo es medido en bytes.
- Stop Time con 2 bytes: es el tiempo de parada en que la ONT designada por el Alloc-ID termina su transmisión en upstream.
- CRC con 1 byte: se manifiesta con 2 bits de errores y la corrección de un bit sobre el campo de asignación de ancho de banda.

### 2.1.3.2 Trama GPON en upstream

Las ONTs envían transmisiones sucesivas con la finalidad de tener una recepción adecuada de las tramas enviadas en modo de ráfaga. Para que este proceso sea satisfactorio se añade un encabezado al inicio de cada burst (ITU-T G984.3, 2014) como se muestra en la Figura 2-3.



**Figura 0-39:** Trama GPON en Upstream.

Fuente: (ITU-T G984.3, 2014)

- Cabecera PLOu: inicialmente existe un preámbulo por cada burst de transmisión de cada ONT, se realiza este proceso para asegurar la operación adecuada de la capa física obteniendo un bit y byte de alineación.
- Capa física (PLOAMu): Se compone de 13 bytes incluyendo los mensajes de PLOAM, esta cabecera es la responsable de poner en funcionamiento la ONT, notificación de alarmas. Para la detección de errores emplea el estándar polinomial y código de corrección
- El campo DBRu es la responsable de notificar a la OLT la cola de cada Alloc-ID en una ONT, permitiendo el funcionamiento adecuado de la asignación de ancho de banda y está protegido contra errores por el CRC.

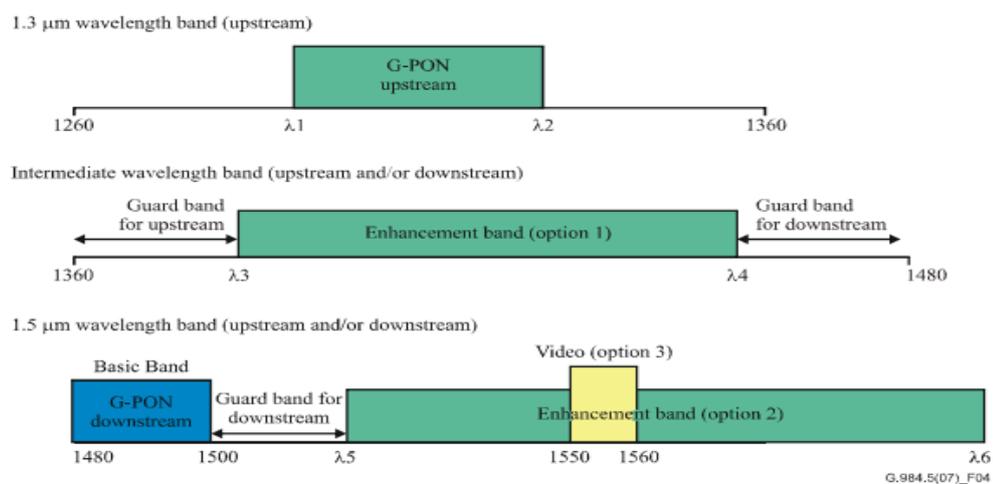
### 2.1.4 ITU-T G.984.4

Son las especificaciones de la interfaz de control y gestión OMCI, se enfoca en los recursos y servicios procesados de una base de información entre la OLT y ONT. Además, permite conocer a fondo como se administran los diferentes servicios y sus respectivas tramas según las relaciones y atributos dentro del sistema de encriptación (ITU-T G.984.4,2008). Entre las principales características que se menciona en esta recomendación son:

- Base de información de Gestión (MIB), definidas como entidades OMCI.
- Gestión de la ONT.
- Configuración y gestión de servicios.
- Configuración y gestión de subnivel, adaptación GTC.

### 2.1.5 ITU-T G.984.5

Se define un rango de bandas y longitudes de onda que se reservan para una futura implementación de nuevos servicios, como servicios de video y NGA a través de la técnica de multiplexación WDM, esto para maximizar el valor de las redes de distribución óptica (ITU-T G984.5,2008). En la Figura 2-4 una banda de protección separa la banda upstream de la banda de mejora. La interferencia entre las señales en estas dos bandas provoca la degradación de la señal en cada una, para lo cual se utiliza filtros de bloqueo de longitud de onda (WBF). Esta degradación de la señal debe mantenerse a un nivel insignificante.



**Figura 0-40:** Asignación de longitud de onda.

Fuente: (ITU-T G984.5, 2008)

La Tabla 2-3 muestra las asignaciones de las longitudes de onda reservadas para los servicios GPON, NGA y video.

**Tabla 0-9:** Parámetros de asignación de longitud de onda

|                                   | Parámetro                   | Valor Nominal  | Aplicación                               |
|-----------------------------------|-----------------------------|----------------|--|
| <b>Banda básica</b>               | Límite inferior             | 1480 nm        | Para uso en G-PON downstream.            |
|                                   | Límite superior $\lambda_5$ | 1500 nm        |  |
| <b>Banda de mejora (opción 2)</b> | Límite inferior $\lambda_5$ | 1530 nm        | Para redes de siguiente generación NGA.  |
|                                   | Límite superior $\lambda_6$ | 1580 – 1625 nm |  |
| <b>Banda de mejora (opción 3)</b> | Límite inferior             | 1550 nm        | Para distribución del servicio de video. |
|                                   | Límite superior             | 1560 nm        |  |

Fuente: (ITU-T G984.5, 2014)

Realizado por: Morejón, Jayro, 2021

## 2.2 Estándar ITU-T G.987

Es un estándar para transmisiones de banda ancha capaz de entregar una velocidad de Internet de 10 Gbps sobre redes PON y con cualquier arquitectura FTTx. Este estándar tiene la finalidad de coexistir juntamente con las redes GPON (ITU.G987.1,2016). El estándar G.987.x incluye las siguientes recomendaciones:

- G.987.1: Requerimientos Generales.
- G.987.2: Especificaciones de la capa física dependiente.
- G.987.3: Especificaciones de la capa de transmisión convergente.

En la Tabla 2-4 se detallan los requerimientos generales para una red 10G-PON.

**Tabla 0-10:** Requerimientos generales de la red 10G-PON

| Parámetro                          | Requerimiento  |
|------------------------------------|--|
| <b>Características de la Fibra</b> | Monomodo ITU-T G.652.  |
| <b>Longitud de onda</b>            | Upstream: 1260 - 1280 nm.<br>Downstream: 1575-1581 nm.   |
| <b>Tasa de transferencia</b>       | XG-PON1: 10 Gbps downstream, 2.5 Gbps Upstream<br>XG-PON2: 10 Gbps downstream, 10 Gbps upstream. |
| <b>Divisiones</b>                  | 64   |
| <b>Distancia</b>                   | 20 Km máximo.  |

Fuente: (ITU-T G987.2, 2016)

Realizado por: Morejón, Jayro, 2021

### 2.3 Comparación de los estándares G.984 y G.987

Los estándares G-PON y 10G-PON son similares, como consecuencia de los continuos avances tecnológicos. En la Tabla 2-5 se muestra las diferencias entre estos estándares.

**Tabla 0-11:** Comparación de la red GPON y 10G-PON

| Característica                                | G-PON  | 10G-PON  |
|---|--|--|
| Número de fibras para transmisión             | 2  | 1  |
| Tasa de transmisión máxima downstream         | 2.4 Gbps   | XG-PON1: 10 Gbps<br>XG-PON2: 10 Gbps                   |
| Longitud de onda                              | Video: 1550-1660 nm en downstream.<br>Voz y datos: 1480 – 1500 nm en downstream; 1260 – 1360 nm en upstream. | Upstream: 1260 - 1280 nm.<br>Downstream: 1575-1581 nm. |
| Tasa de transmisión máxima upstream           | 2.4 Gbps   | XG-PON1: 2.5 Gbps<br>XG-PON2: 10 Gbps                  |
| Subcapas de adaptación y tramas en la capa TC | Sí   | Sí, define la subcapa PHY                              |
| Encriptación de datos                         | Algoritmo AES  | Algoritmo AES - CMAC                                   |

Fuente: (ITU-T G987.2, 2016)

Realizado por: Morejón, Jayro, 2021

De la Tabla 2-5 se concluye que los dos estándares son similares con la variación en la longitud de onda, a futuro las redes GPON pueden migrar hacia las redes G-PON o a la convivencia de ambas tecnologías sin afectar en lo más mínimo el servicio entregado al usuario.

### 2.4 Metodología del Diseño de la red GPON

En el presente proyecto de titulación se utilizó la investigación bibliográfica por lo que se basó en la información recopilada en libros, sitios web, revistas, acerca de los servicios triple play, redes de fibra óptica. Para realizar el diseño de la red también se basó en la investigación de campo mediante la técnica de encuestas, la cual nos permite recopilar información sobre el estado actual, preferencias y problemas de la calidad de servicio de internet en la zona urbana del cantón Guano. Finalmente, con esta técnica de campo podemos comprobar la viabilidad y la necesidad que se tiene para desarrollar el presente tema.

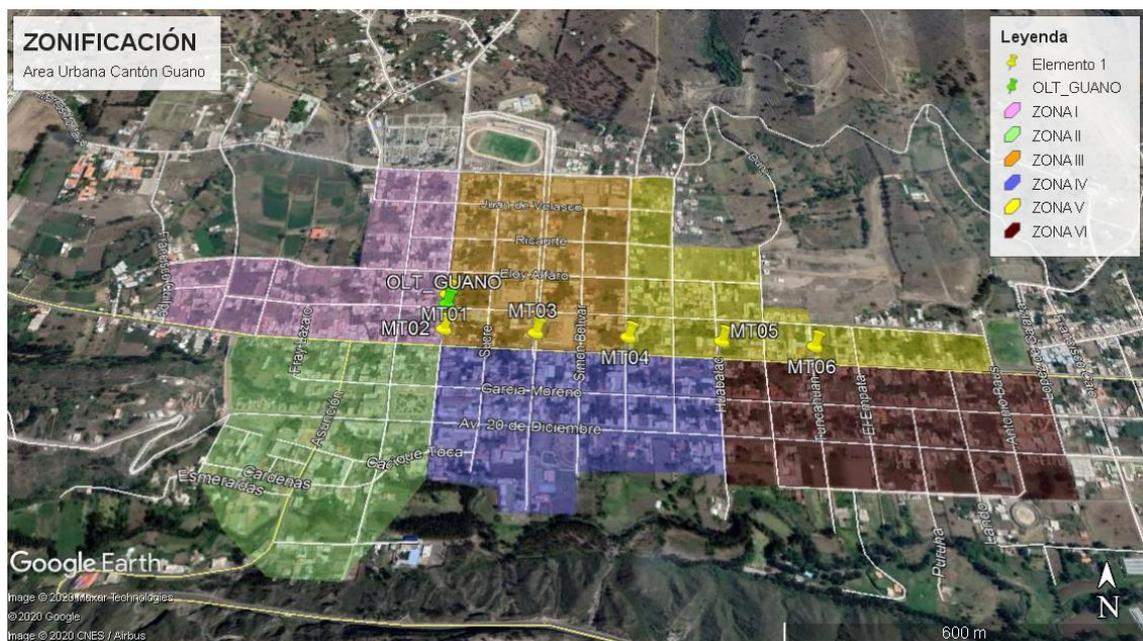
## 2.5 Criterios de diseño

Los parámetros a considerar para el diseño de la red GPON son los siguientes:

- Determinación del área de estudio de la zona urbana del Cantón Guano.
- Arquitectura de red.
- Determinación de la topología de red.
- Determinación de la fibra óptica a implementar.
- Selección de Equipos.
- Ubicación de equipos.

## 2.6 Descripción de la Ubicación Geográfica de la zona urbana del Cantón.

Este Cantón perteneciente a la Provincia de Chimborazo Zona 3 ubicado en latitud:  $1^{\circ}36'28.0''$  S y longitud:  $78^{\circ}38'41.5''$  W cuenta con 42.9 mil habitantes, de los cuales, el 18.1% representa los habitantes de la zona urbana con un total de 1576 viviendas (INEC,2010).



**Figura 0-41:** Zona Urbana del Cantón Guano.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

En la Figura 2-5 se observa la zona urbana del cantón distribuida por seis zonas. Mediante un recorrido por toda la zona urbana de Guano se determina en la Tabla 2-6 el número de viviendas distribuidas por cada subzona asumiendo que serán posibles clientes que adquieran el servicio Triple Play.

**Tabla 0-12:**Cantidad de viviendas por zona.

| Número de Zona | Número de viviendas |
|----------------|---------------------|
| I              | 272                 |
| II             | 272                 |
| III            | 296                 |
| IV             | 272                 |
| V              | 216                 |
| VI             | 248                 |
| <b>TOTAL</b>   | <b>1576</b>         |

Realizado por: Morejón, Jayro, 2021

A continuación, se procede a realizar una demanda de estudio.

## 2.7 Encuestas

Se realizará en toda la zona urbana del Cantón Guano ya que cuentan con el mayor número de usuarios que poseen línea telefónica e internet y son los más opcionados a contratar el servicio Triple Play a futuro. Con las encuestas se conocerá el nivel de aceptación del servicio de telecomunicaciones en la zona, costos, velocidad y grado de satisfacción.

### 2.7.1 Cálculo Tamaño de la muestra

Con esta investigación determinaremos el grado de credibilidad de los resultados obtenidos. Para lo cual obtendremos la muestra de encuestas a realizarse, mediante la ecuación de Tamaño de la Población para poblaciones finitas ya que no hay un estudio previo anterior.

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

Donde:

**n:** Es el tamaño o número de encuestas a realizar.

**N:** Es el tamaño de la población (posibles encuestados), se tomará el valor de 1576, datos tomados de la página del INEC.

**Z:** Es el nivel de confianza, el valor más utilizado es de 1.96 y representa el 95% de confiabilidad.

*e*: Es el margen de error o precisión muestral deseado, en nuestro caso aplicaremos el 5%.

*p*: Es la probabilidad de éxito,  $p=50\%$ .

*q*: Es la probabilidad de fracaso,  $q=50\%$ .

Reemplazando los valores respectivos en la ecuación (1-2), se procede a calcular el tamaño de la muestra:

$$n = \frac{(1.96)^2 * 0.5 * 0.5 * 1576}{(0.05)^2 * (1576 - 1) + (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{1,503,504}{4.8979}$$

$$n = 307 \text{ encuestas.}$$

Con el resultado obtenido se determina que se debe realizar 307 encuestas en la zona urbana del Cantón Guano.

### 2.7.2 Análisis de los resultados obtenidos

El diseño de la encuesta se muestra en el **ANEXO A**, la cual consta de siete preguntas de selección múltiple, enfocadas en la adquisición futura del servicio Triple Play (Telefonía, Internet, Televisión), el grado de satisfacción actual por parte de los usuarios con los ISP contratados, la factibilidad de un pago mayor con respecto al servicio triple play y si recomendaría el usuario el servicio. A continuación, se indica los resultados obtenidos:

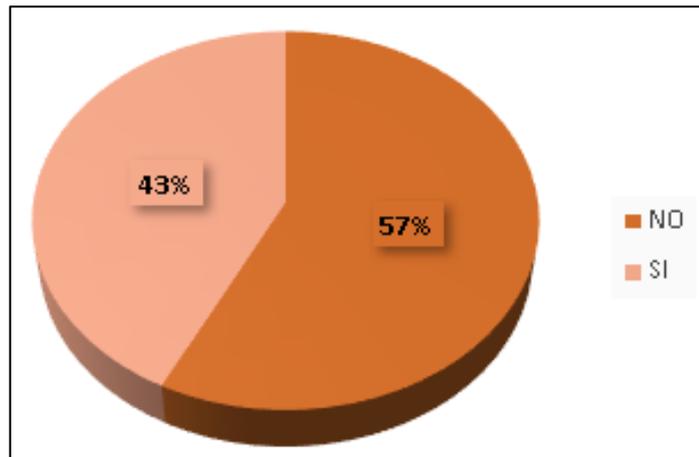
- **Pregunta 1:** ¿Cuenta usted con un contratado de servicios de Telefonía, Internet y Televisión, por un mismo medio de transmisión con un costo mensual?

**Tabla 0-13:** Personas con un contrato de servicio triple play.

| <b>RESULTADO</b> | <b>ENCUESTADOS</b> | <b>PORCENTAJE</b> |
|------------------|--------------------|-------------------|
| <b>SI</b>        | 132                | 43%               |
| <b>NO</b>        | 175                | 57%               |
| <b>TOTAL</b>     | <b>307</b>         | <b>100%</b>       |

Fuente: Investigación de campo

Realizado por: Morejón, Jayro, 2021



**Figura 2 6:** Porcentaje de personas con un contrato de servicio tripe play.

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

De las personas encuestadas el 57% no cuentan con un servicio contratado por un mismo medio de transmisión como se muestra en la Figura 2-6, Tabla 2-7, razón por la cual se concluye que pueden ser clientes de nuestro servicio triple play a futuro.

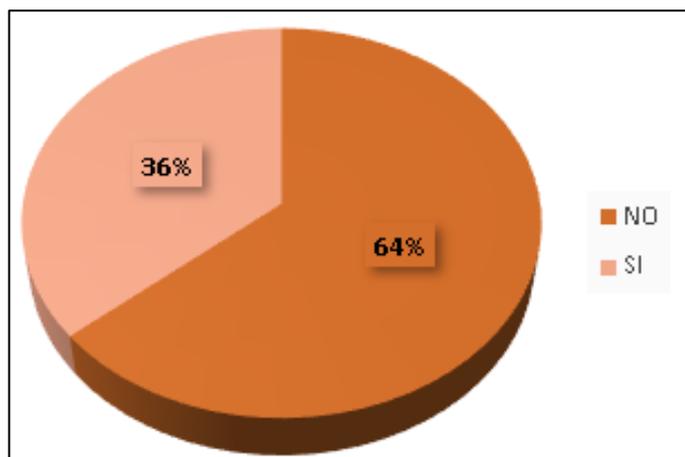
- **Pregunta 2:** ¿Usted está satisfecho con el servicio de internet con el que cuenta en su hogar?

**Tabla 0-14:** Grado de satisfacción del servicio contratado actual.

| RESULTADO    | ENCUESTADOS | PORCENTAJE  |
|--------------|-------------|-------------|
| SI           | 111         | 36%         |
| NO           | 196         | 64%         |
| <b>TOTAL</b> | <b>307</b>  | <b>100%</b> |

**Fuente:** Investigación de campo

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021



**Figura 0-42:** Porcentaje de satisfacción del usuario.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

En la Figura 2-7, Tabla 2-8 se muestra que el 64% de las personas encuestadas no están conformes con el servicio con el que cuentan actualmente, por lo que se concluye que existen fallas en la red desplegada.

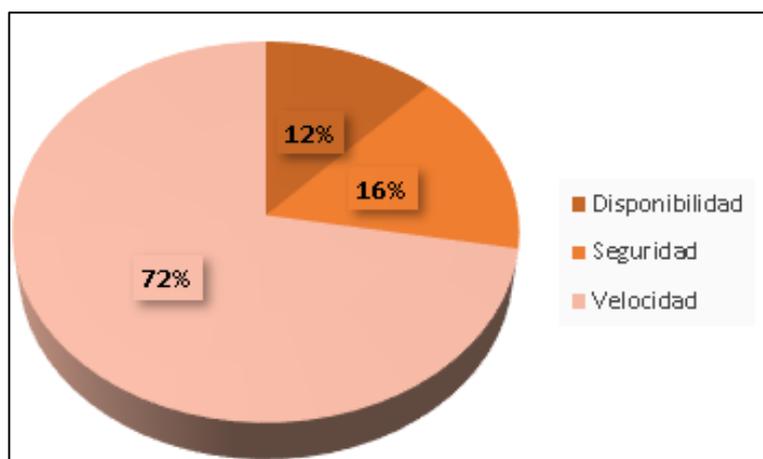
- **Pregunta 3:** ¿Cuál de las siguientes opciones piensa usted que es el mayor problema en su servicio contratado?

**Tabla 0-15:** Problemas de red del servicio.

| RESULTADO             | ENCUESTADOS | PORCENTAJE  |
|-----------------------|-------------|-------------|
| <b>Velocidad</b>      | 221         | 72%         |
| <b>Disponibilidad</b> | 37          | 12%         |
| <b>Seguridad</b>      | 49          | 16%         |
| <b>TOTAL</b>          | <b>307</b>  | <b>100%</b> |

Fuente: Investigación de campo

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021



**Figura 0-43:** Porcentaje de problemas de red del servicio.

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

El 72% de encuestados recalcaron que el mayor inconveniente del servicio con el que cuentan actualmente es la velocidad, el 16% la seguridad y el 12% la disponibilidad de la red como se muestra en la Figura 2-8, Tabla 2-9, se concluye, para brindar un servicio de calidad, estos parámetros son la fuente principal para cumplir con las necesidades y expectativas de los futuros clientes.

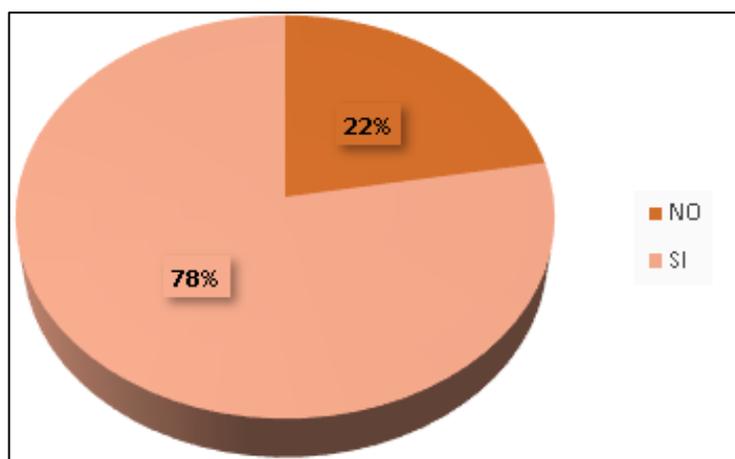
- **Pregunta 4:** ¿Le gustaría contratar el servicio Triple Play (Internet, Telefonía, TV) a través de una nueva tecnología de fibra óptica? (se refiere a realizar un solo contrato y pago por los tres servicios, por un mismo medio de transmisión).

**Tabla 0-16:** Clientes en adquirir el servicio triple play.

| RESULTADO    | ENCUESTADOS | PORCENTAJE  |
|--------------|-------------|-------------|
| SI           | 239         | 78%         |
| NO           | 68          | 22%         |
| <b>TOTAL</b> | <b>307</b>  | <b>100%</b> |

**Fuente:** Investigación de campo

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021



**Figura 0-44:** Porcentaje de clientes en adquirir el servicio triple play.

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

El 78% de los encuestados eligen contratar este nuevo servicio Triple Play como se muestra en la Figura 2-9, Tabla 2-10, razón por la cual se convierten en futuros clientes potenciales.

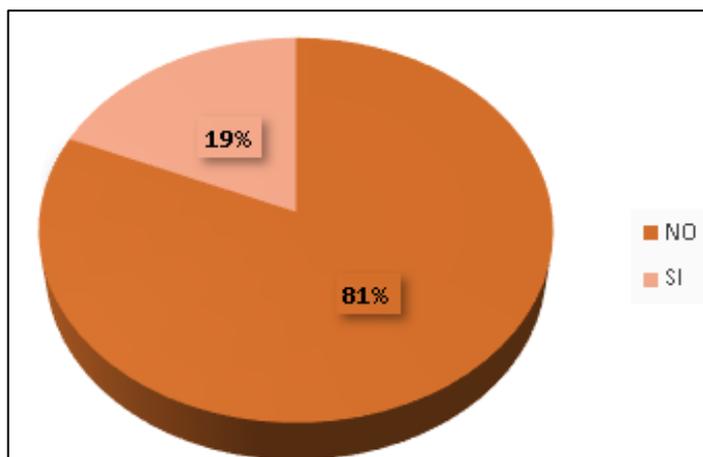
- **Pregunta 5:** ¿Usted estaría de acuerdo en pagar un porcentaje mayor de lo que cancela por obtener el servicio Triple Play?

**Tabla 0-17:** Pagar una cantidad mayor por el servicio.

| RESULTADO    | ENCUESTADOS | PORCENTAJE  |
|--------------|-------------|-------------|
| SI           | 58          | 19%         |
| NO           | 249         | 81%         |
| <b>TOTAL</b> | <b>307</b>  | <b>100%</b> |

**Fuente:** Investigación de campo

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021



**Figura 0-45:** Porcentaje de clientes en pagar una cantidad mayor por el servicio.

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

En la Figura 2-10, Tabla 2-11 se muestra que solo 19% está de acuerdo en pagar un porcentaje mayor al actual por adquirir el servicio Triple Play y el 81% está en desacuerdo. Lo que nos indica que debemos abrir un conjunto de paquetes en los precios en el servicio a implementarse para que haya mayor acogida en la población.

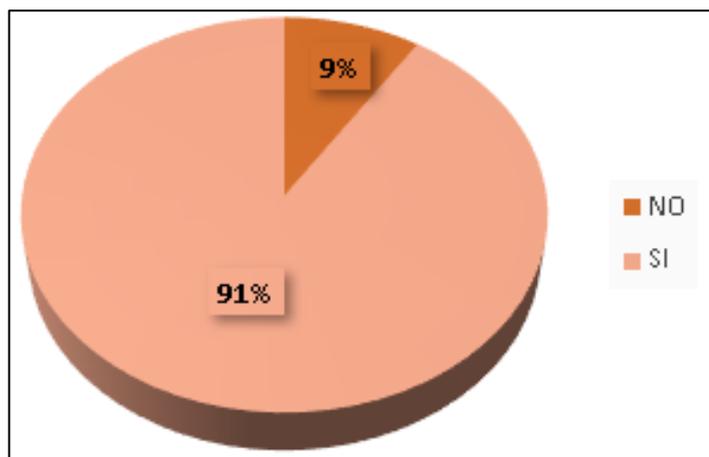
- **Pregunta 6:** Está de acuerdo usted con que se actualice la red de internet en el cantón Guano.

**Tabla 0-18:** Actualizar la red de internet en el cantón Guano.

| RESULTADO    | ENCUESTADOS | PORCENTAJE  |
|--------------|-------------|-------------|
| SI           | 279         | 91%         |
| NO           | 28          | 9%          |
| <b>TOTAL</b> | <b>307</b>  | <b>100%</b> |

**Fuente:** Investigación de campo

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021



**Figura 0-46:** Porcentaje de usuarios que desean una actualización en la red.

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

El 91% está de acuerdo en que se actualice la red del cantón Guano como se muestra en la Figura 2-11, Tabla 2-12, por los inconvenientes de la red mencionados en la pregunta 3. Lo que nos indica que el servicio Triple Play puede tener gran acogida en la población.

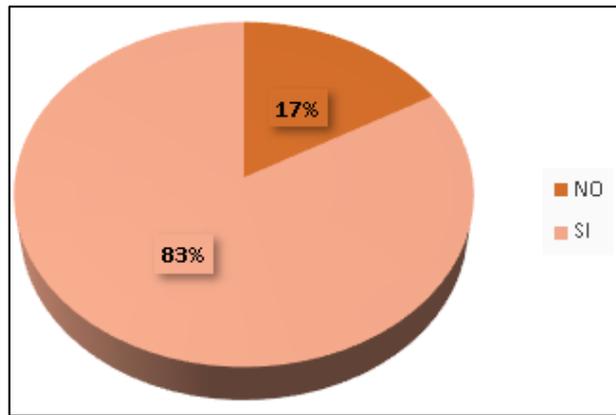
- **Pregunta 7:** ¿Recomendaría usted el servicio Triple Play (Internet, Telefonía, TV) a otras personas?

**Tabla 0-19:** Recomendación del servicio por parte del cliente.

| RESULTADO    | ENCUESTADOS | PORCENTAJE  |
|--------------|-------------|-------------|
| SI           | 255         | 83%         |
| NO           | 52          | 17%         |
| <b>TOTAL</b> | <b>307</b>  | <b>100%</b> |

**Fuente:** Investigación de campo

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021



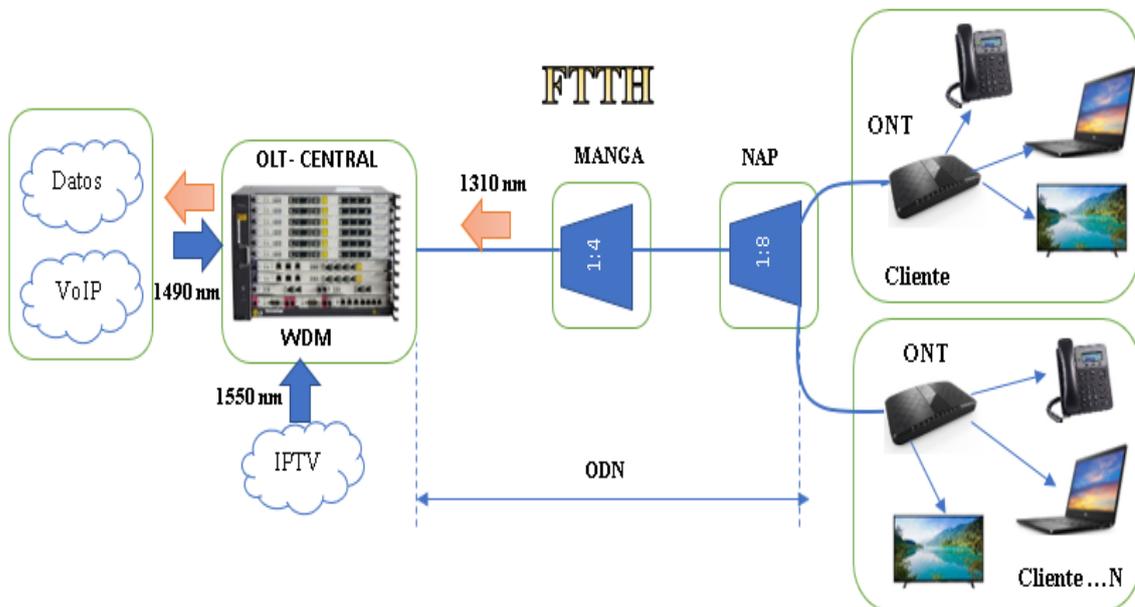
**Figura 0-47:** Porcentaje de clientes que recomendarían el servicio.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

De las personas encuestadas el 83% recomendaría el servicio Triple Play a otras personas como se muestra en la Figura 2-12, Tabla 2-13. Por lo que se concluye que el servicio a implementarse puede tener gran acogida a futuro.

## 2.8 Arquitectura de la red GPON

La arquitectura de la red GPON a diseñar en la zona urbana del cantón Guano es fibra óptica hasta el hogar FTTH. La cual se encuentra estructurada por tres etapas que son la OLT, ODN y ONT como se muestra en la Figura 2-13.



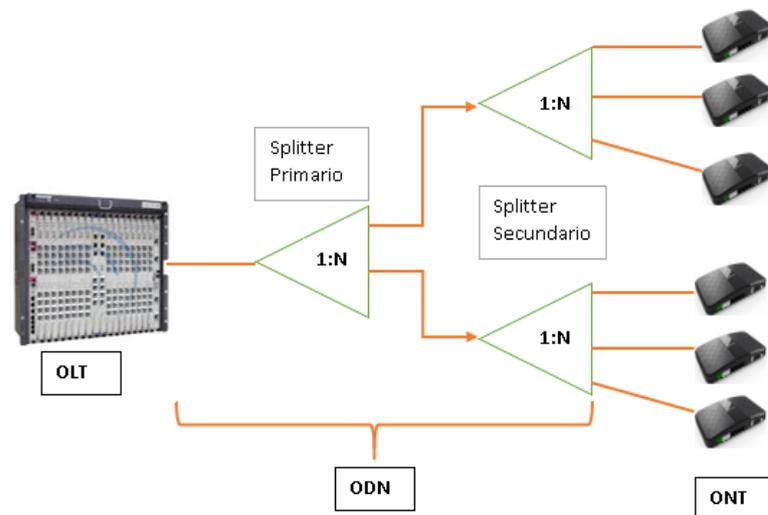
**Figura 0-48:** Arquitectura de la red GPON.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

- La Central es la encargada de desplegar el servicio Triple Play que consta de VoIP, Internet e IPTV. Los servicios de voz y datos se envían mediante la longitud de onda de 1490 nm y el servicio de IPTV se envía en la ventana de 1550 nm, la cual estas señales son sumadas mediante un multiplexador por división de longitud de onda WDM y es transmitida por la OLT a través de la fibra óptica. En cambio, cuando la ONT envía información la OLT recibe esta información por la ventana de 1310 nm.
- La ODN está conformada por los elementos pasivos como son la fibra óptica y dos niveles de división de primer nivel de 1:4 que se encuentra en las mangas y un segundo nivel de 1:8 que se encuentra en las NAPs.
- Finalmente, el cliente recibe el servicio triple play, el cual mediante una ONT se demodula la señal óptica en impulsos eléctricos.

## 2.9 Selección de la topología de red

El diseño de la red GPON utiliza una topología tipo árbol como se muestra en la Figura 2-14, ya que es la más recomendada, ofrece bajo coste, alta escalabilidad y se puede ir añadiendo posibles usuarios a la red a futuro, como se determinó en el Capítulo I.



**Figura 0-49:** Topología de árbol.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

La Figura 2-14 muestra la topología de árbol, la cual inicia desde la OLT; es el encargado de brindar el servicio triple play al usuario final (ONT) mediante la ODN. La ODN se compone por dos partes: splitter primario y secundario, los cuales son divisores ópticos de 1: N encargados de dividir la señal óptica transmitida de la ONT.

## 2.10 Selección de la fibra óptica

Como se analizó en la Tabla 5.1 del Capítulo I existen una variedad de fibras estandarizadas, en este proyecto la fibra óptica a implementarse tanto en la red feeder como en la red de distribución es la fibra óptica monomodo normalizada ITU-T G.652. ya que es óptima para transmitir en ventanas de 1310 y 1550 nm y posee un coeficiente de atenuación en el orden de 0.3 dB/Km. Esta fibra posee subcategorías siendo la más opcionada la G-652.D, con esta fibra monomodo se obtiene velocidades de 2.5 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps o 160 Gbps, y es ideal para trabajar con distancias largas. Para la red de dispersión se recomienda utilizar fibra monomodo G.657 ya que se utiliza en interiores de edificios y hogares y posee radios de curvatura muy pequeños (FiberBroadBand Asociation,2020). En este proyecto se utiliza la fibra G.657 A1, posee un menor coeficiente de atenuación en el rango de longitudes de onda de 1310nm a 1625 nm, un radio de curvatura de hasta 10mm y es compatible con la fibra óptica G.652. En la Tabla 2-14 se muestra la selección de tipo de fibra óptica para cada sección de le red GPON a implementarse. En el Anexo B se muestra las especificaciones técnicas de las fibras seleccionadas.

**Tabla 2 14:** Selección de fibra óptica.

| <b>RED GPON</b>            | <b>Fibra Óptica</b> |
|----------------------------|---------------------|
| <b>Red Feeder</b>          | G.652.D             |
| <b>Red de distribución</b> | G.652.D             |
| <b>Red de dispersión</b>   | G.657.A1            |

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

## 2.11 OLT Huawei SmartAX MA5603T

Es un equipo activo de bajo costo fabricado por Huawei Technologies. Este equipo se puede implementar en ambientes indoor dentro de la oficina central u outdoor en instalaciones exteriores el cual incluye un armario de protección (Huawei Technologies Co. 2015). En la Tabla 2-15 se especifica las características generales de este equipo.

**Tabla 2 15:** Características generales de la OLT.

|  |  |
|--|--|
| <b>OLT</b>   |        |
| <b>Modelo</b>  | Smart AX MA56037   |
| <b>Ranuras de servicio</b>                                 | 6  |
| <b>Temperatura de trabajo</b>                              | -25 °C a +65°C   |
| <b>Capacidad de acceso</b>                                 | ADSL+ (384 puertos)<br>VDSL2 (384 puertos)<br>TDM SHDSL<br>GPON (96 puertos)<br>10G GPON |
| <b>Precio</b>  | Muy Bajo   |
| <b>Capacidad de conmutación</b>                            | 1.5 Tbit/s (H801MABO)<br>2 Tbit/s (H802MABO)   |
| <b>Soporta IPTV</b>  | Sí   |
| <b>Placa GPON</b>  | 16 puertos admiten una relación dividida de 1:128  |
| <b>GPON Board</b>  | Clase B+/C+  |
| <b>Interfaces</b>  | GE/10GE  |
| <b>Máximo número de puertos upstream en slots tarjetas</b> | 8  |
| <b>Máximo número de puertos PON upstream en slots</b>      | 2  |
| <b>Potencia de trabajo salida óptica</b>                   | 0.05 dBm – 5dBm  |
| <b>Tipo de fibra óptica</b>                                | Monomodo   |
| <b>Sensibilidad</b>  | -27.00 dBm   |

Fuente: (Huawei Technologies Co.,2015)

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

## 2.12 ONT Huawei EchoLife HG850A

Es un equipo terminal óptico de arquitectura FTTH con tecnología GPON, se proporciona acceso ultra-banda ancha para usuarios domésticos y SOHO. Proporciona dos puertos de voz y cuatro puertos Ethernet de adaptación automática GE. Cuenta con un servicio de reenvío de alto rendimiento para servicios de vídeo, VoIP, Internet y HD (Aliexpress,2020). En la Tabla 2-16 se indica las características de este equipo.

**Tabla 2 16:** Características generales de la ONT.

|                            |  |
|----------------------------|--|
| ONT                        |  A black, rectangular Huawei EchoLife HG850A ONT device. The front panel features a perforated grille at the top, the Huawei logo and 'HUAWEI EchoLife HG850A' text in the center, and a row of status LEDs at the bottom labeled TEL2, TEL1, WUP, LAN1, LAN2, LAN3, LAN4, ALTH, LINK, and POWER. |
| <b>Modelo</b>              | HG850A   |
| <b>Potencia</b>            | 14 W   |
| <b>Puertos datos</b>       | 4 FE/GE  |
| <b>Interfaz GPON</b>       | SC/UPC   |
| <b>Tasa de transmisión</b> | Downstream: 2.48 Gbps Upstream: 1.24 Gbps  |

Fuente: (<https://es.aliexpress.com/item/32809951979.html>,2020)

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

## 2.13 Ubicación de equipos

A continuación, se detalla la ubicación de los equipos:

### 2.13.1 Ubicación de OLT

El equipo Terminal de Línea Óptica (OLT) se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas: latitud 1°36'21.65" Sur y longitud 78°38'40.33" Oeste, que corresponde a las calles Colón y Juan Montalvo, en el centro urbano del cantón Guano. En la Figura 2-15 se encuentra marcada como OLT\_GUANO, por lo que permitirá balancear la carga de la red en todas las direcciones.



**Figura 0-50:** Lugar de instalación del equipo OLT.

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

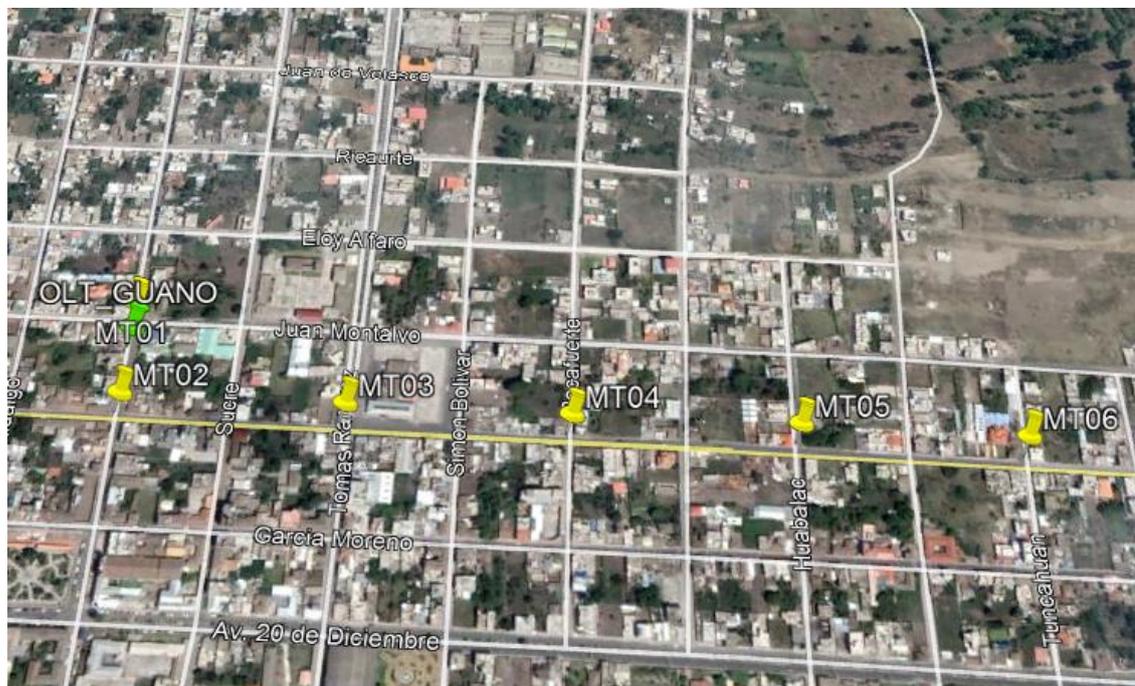
### ***2.13.2 Divisores ópticos de primer nivel***

Para determinar la ubicación de los divisores ópticos primarios, la zona urbana del Cantón Guano está dividida en seis zonas, en la Tabla 2-17 se detalla la ubicación de las mangas porta splitter por cada zona, la distancia a la que se encuentran del equipo OLT, cada manga es identificada por las siglas MT0x donde "x" representa el número según sea la zona. La caja del armario para distribución de Fibra Óptica generalmente es construida en aluminio resistente a la corrosión, proporcionando así una protección física superior en los entornos exteriores. En la Figura 2-16 se puede ver la ubicación en el mapa del equipo OLT y las mangas porta splitter.

**Tabla 2 17:** Detalle de las Mangas Porta Splitter.

| Zona | Manga | Splitter Primario | Distancia | Dirección                       |
|------|-------|-------------------|-----------|---------------------------------|
| 1    | MT01  | 1:4               | 22,72 m   | Juan Montalvo y Colón           |
| 2    | MT02  | 1:4               | 59,34 m   | Agustín Davalos y Colón         |
| 3    | MT03  | 1:4               | 235,14 m  | Agustín Davalos y Tomas Ramírez |
| 4    | MT04  | 1:4               | 413,16 m  | Agustín Davalos y Rocafuerte    |
| 5    | MT05  | 1:4               | 595,18 m  | Agustín Davalos y Huabalac      |
| 6    | MT06  | 1:4               | 774,62 m  | Agustín Davalos y Tuncahuan     |

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021



**Figura 0-51:** Ubicación de las mangas porta splitter en el mapa.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

### 2.13.3 Divisores ópticos secundarios (NAPs)

En el segundo nivel se encuentran las NAPs o cajas de distribución ópticas las mismas que contienen splitters de relación 1:8 y serán utilizadas para derivar los hilos principales provenientes del armario hasta a los usuarios finales, las cuales serán ubicadas en los postes en puntos estratégicos de las zonas.

## 2.14 Diseño de la Red GPON

El diseño de la red de la zona urbana del Cantón Guano está realizado con una arquitectura FTTH GPON, tomando en consideración el estándar G.984.x en la cual se busca garantizar el servicio Triple Play a los usuarios finales. Para realizar el diseño de la red Feeder, red de distribución y red de dispersión, se utilizó la herramienta de software AutoCAD 2018. Para lo cual se toma en consideración la siguiente estructura:

- Número de manzanas por cada zona.
- Número de abonados por manzana.
- Inconvenientes futuros con los hilos de fibra óptica.

### 2.14.1 Red Feeder

La red troncal o conexión principal (Feeder), está conformada por los cables de fibra óptica que salen del equipo OLT como se observa en la Figura 2-17 en las direcciones descritas en la Tabla 2-17 al primer nivel de splitteo tomando en cuenta la distancia.

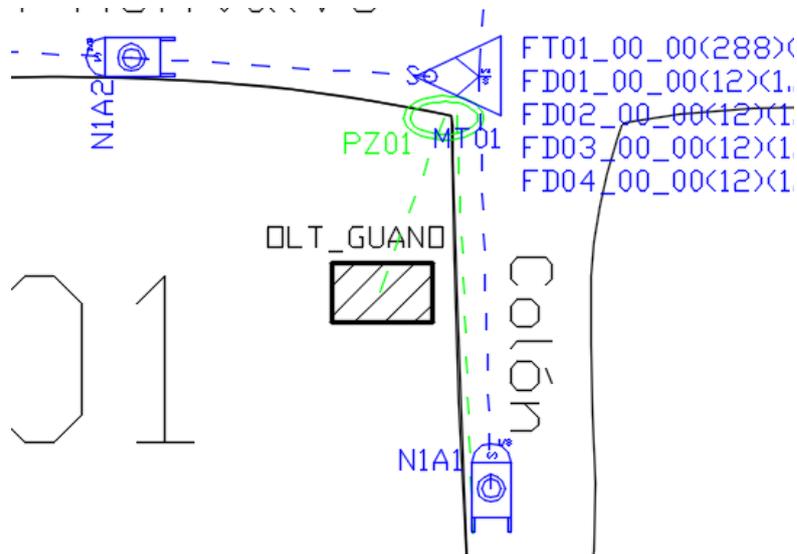


**Figura 0-52: Red Troncal**

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

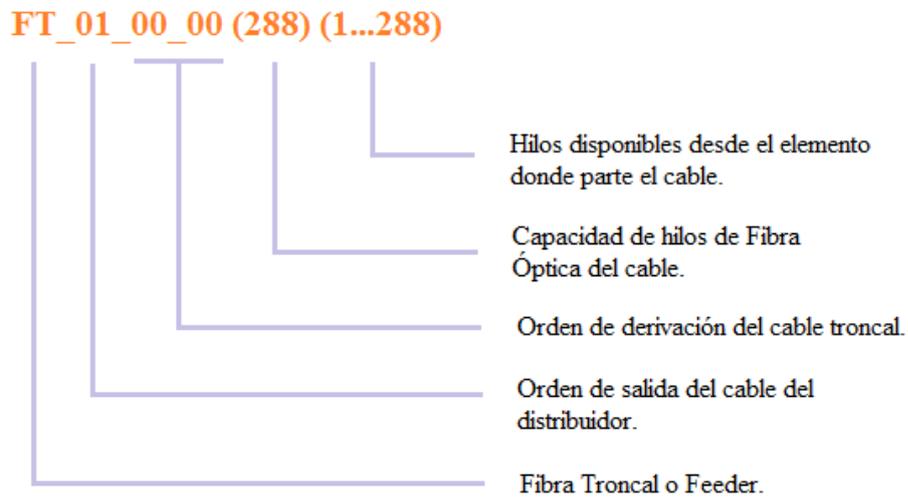
Para el diseño de la red troncal se tomará como referencia una fibra troncal G.652.D con capacidad de 288 hilos. Desde la OLT la cual tiene 8 tarjetas, cada una con 128 puertos PON se enviará la fibra de forma canalizada hasta el pozo subterráneo PZ01 ubicado a 5 metros, en las calles Colón

y Juan Montalvo esquina, como se puede ver en la Figura 2-18. hasta las mangas MT0x, en este apartado se realizará un sangrado del cable trocal, denominado: FT01\_00\_00(288) (1...288) como se muestra en la Figura 2-19.



**Figura 0-53:** Salida OLT a Pozo.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021



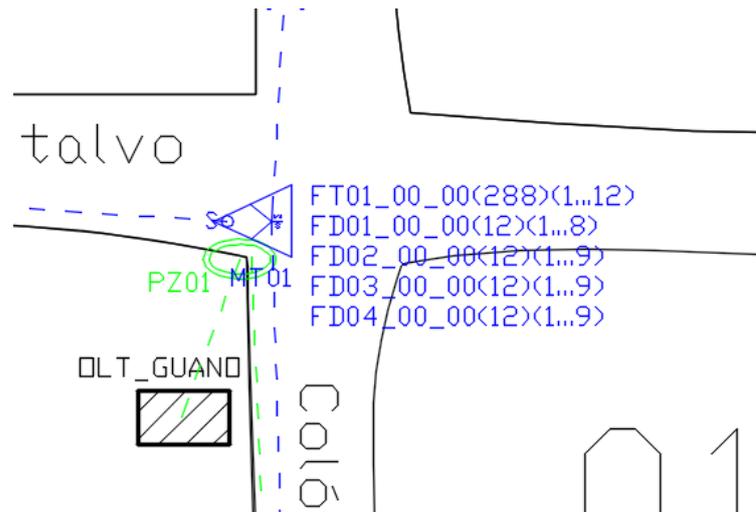
**Figura 0-54:** Nomenclatura cable Feeder.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

En cada una de las mangas de los armarios se encuentran los splitters primarios de 1:4 de los cuales serán derivados los cables de distribución para las NAPs aéreas. A continuación, se detalla la distribución de la fibra óptica en cada zona.

## ZONA I

En la Figura 2-20 se muestra la ubicación del PZ01 la cual se encuentra de manera subterránea y contiene a la manga MT01, en esta sección se utilizará 9 hilos del primer conjunto del cable troncal FT01\_00\_00 (288) (1...12), y esta será fusionada con la derivación FT01\_00\_01(12) (1...9).

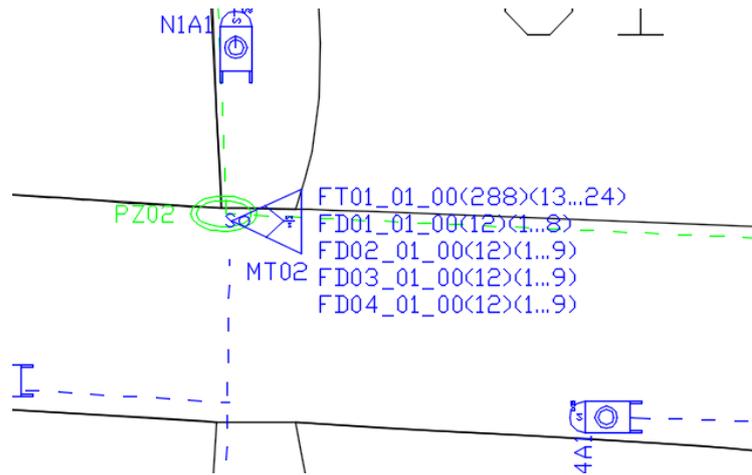


**Figura 0-55:**Pozo PZ01 y Manga Troncal MT01

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

## ZONA II

En la Figura 2-21 se muestra la ubicación del PZ02 la cual se encuentra de manera subterránea y contiene a la manga MT02, en esta sección se utilizará 9 hilos del segundo conjunto del cable troncal FT01\_00\_00 (288) (13...24), y esta será fusionada con la derivación FT01\_01\_01(12) (1...9).

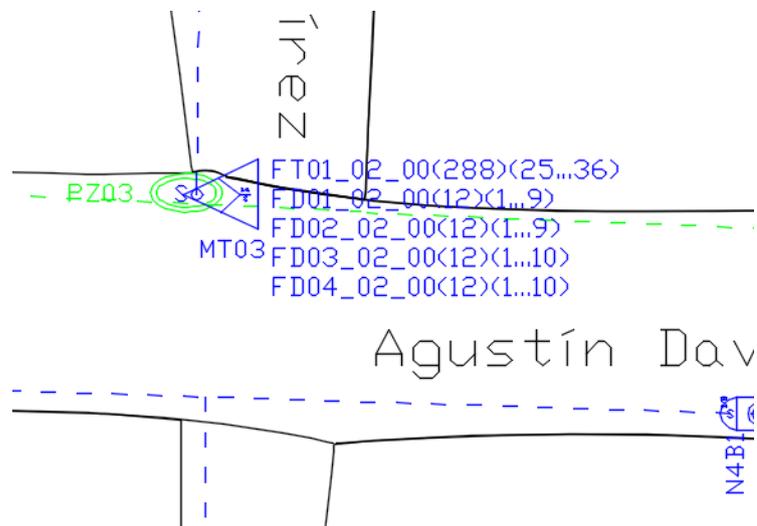


**Figura 0-56:** Pozo PZ02 y Manga Troncal MT02

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

### ZONA III

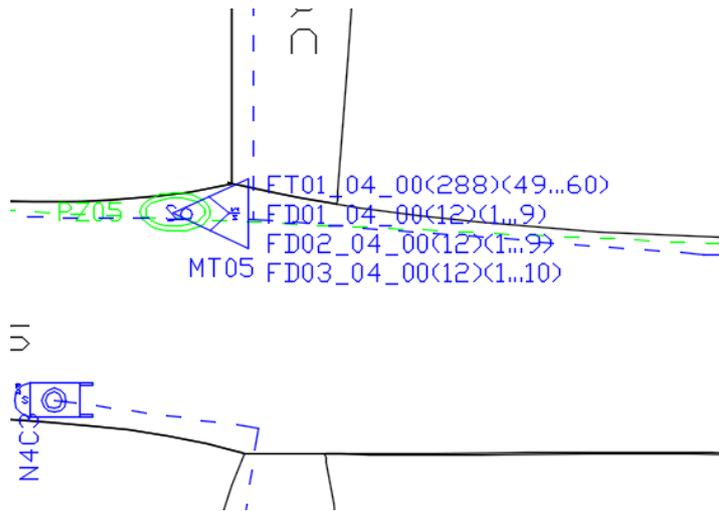
En la Figura 2-22 se muestra la ubicación del PZ03 la cual se encuentra de manera subterránea y contiene a la manga MT03, en esta sección se utilizará 10 hilos del tercer conjunto del cable troncal FT01\_00\_00 (288)(25...36), y esta será fusionada con la derivación FT01\_02\_01(12)(1...10).



**Figura 0-57:** Pozo PZ03 y Manga Troncal MT03

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021



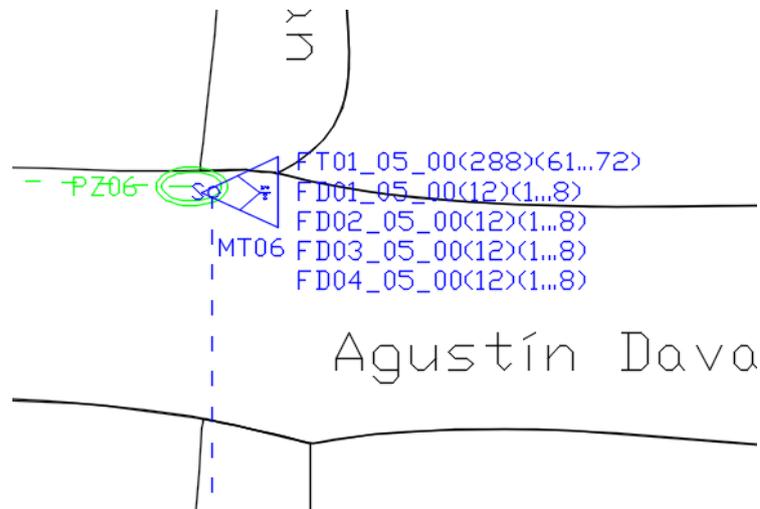


**Figura 0-59:** Pozo PZ05 y Manga Troncal MT05

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

## ZONA VI

Finalmente se encuentra ubicado el PZ06 la cual se encuentra de manera subterránea y contiene a la manga MT06 como se muestra en la Figura 2-25, en esta sección se utilizará 8 hilos del sexto conjunto del cable troncal FT01\_00\_00 (288) (61...72), y esta será fusionada con la derivación FT01\_05\_01(12) (1...8).

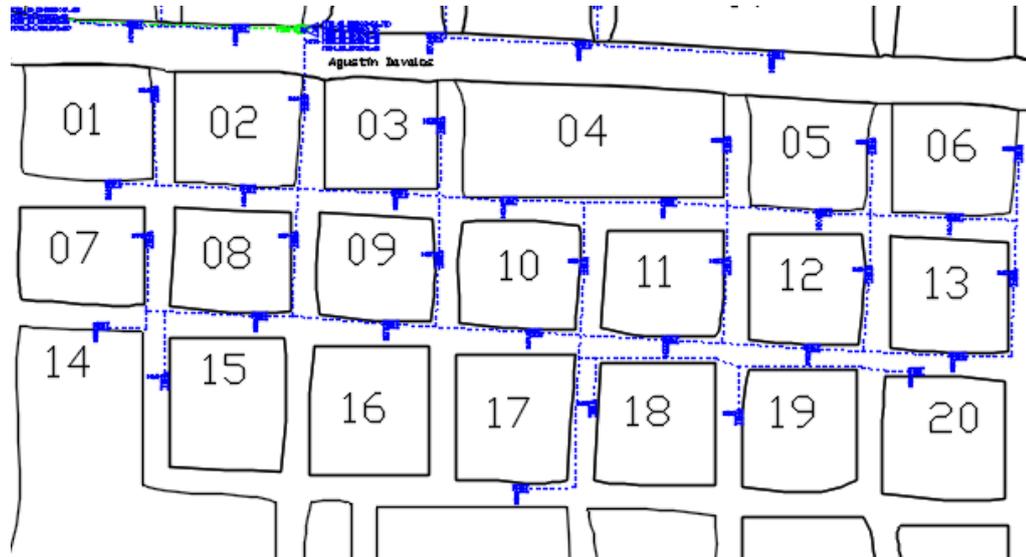


**Figura 0-60:** Pozo PZ06 y Manga Troncal MT06

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

### 2.14.2 Red de Distribución

Se compone desde el primer nivel de división splitter hasta las NAPs como se muestra en la Figura 2-26, en esta sección se utiliza un splitter de 1:8, con una relación total de 1:32, se utiliza una fibra monomodo G.952.D de 12 hilos.



**Figura 0-61:** Red de Distribución.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

Estos equipos se los clasifica con un código único dependiendo en la zona que se encuentre por ejemplo: N1A1, N1A2, N1A3, N1A4; N1B1, N1B2, N1B3, N1B4, ... Los usuarios por cada NAP serán de 8 y estas se encontrarán ubicadas en los postes de cada zona. Tomando en consideración los valores de la Tabla 2-6 con la siguiente ecuación se obtiene el número de NAPs:

$$Total\ NAPs = \frac{Total\ de\ usuarios\ por\ zona}{División\ de\ segundo\ nivel}$$

Para determinar la cantidad de splitters de primer nivel que serán utilizados se calcula con la siguiente ecuación:

$$Total\ splitters = \frac{Total\ NAPs\ por\ zona}{splitter\ 1:N}$$

En la Tabla 2-18 se indica la cantidad de equipos a utilizarse en la red de distribución por cada zona (splitters de primer y segundo nivel, cajas de distribución).

**Tabla 2 18:** Cantidad de equipos requeridos en la red de distribución.

| <b>Número de zona</b> | <b>Cantidad de NAPs segundo nivel 1:8</b> | <b>Número de splitters de primer nivel 1:4</b> |
|-----------------------|---|--|
| I                     | 34  | 9  |
| II                    | 34  | 9  |
| III                   | 37  | 9  |
| IV                    | 34  | 9  |
| V                     | 27  | 7  |
| VI                    | 31  | 8  |
| <b>Total</b>          | <b>197</b>                                | <b>51</b>                                      |

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

A continuación, se realiza un análisis detallado de la red de distribución de cada zona.

## **ZONA I**

En la Tabla 2-18 se determina que la manga troncal MT01 de la zona I tiene 34 NAPs proyectadas, cada uno de estos estarán identificas con letras desde la A hasta la I, en la Figura 2-27 se muestra las NAPs en el plano mediante Google Earth.



**Figura 0-62:** Ubicación de NAPs para la Manga MT01 en Google Earth.

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

En esta sección se une la red de distribución de la Manga MT01 con la red de dispersión con 4 hilos de fibra fusionando a las salidas del splitter de primer nivel, los cuales serán registrados en cada una de las NAPs. A continuación, se indica la nomenclatura de la distribución en esta zona:

- FD01\_00\_00 (12) (1...8)
- FD02\_00\_00 (12) (1...9)
- FD03\_00\_00 (12) (1...9)
- FD04\_00\_00 (12) (1...9)

## ZONA II

En la Tabla 2-18 se determina que la manga troncal MT02 de la zona II tiene 34 NAPs proyectadas, cada uno de estos estarán identificadas con letras desde la A hasta la I, en la Figura 2-28 se muestra las NAPs en el plano mediante Google Earth.



**Figura 0-63:** Ubicación de NAPs para la Manga MT02 en Google Earth.

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

En esta zona se une la red de distribución de la Manga MT02 con la red de dispersión con 4hilos de fibra fusionando a las salidas del splitter de primer nivel, los cuales serán registrados en cada una de las NAPs. A continuación, se indica la nomenclatura de la distribución en esta zona:

- FD01\_01\_00 (12) (1...8)
- FD02\_01\_00 (12) (1...9)
- FD03\_01\_00 (12) (1...9)
- FD04\_01\_00 (12) (1...9)

### **ZONA III**

En la Tabla 2-18 se determina que la manga troncal MT03 de la zona III tiene 37 NAPs proyectadas, cada uno de estos estarán identificadas con letras desde la A hasta la J, en la Figura 2-29 se muestra las NAPs en el plano mediante Google Earth. Se fusionan 4hilos de fibra a las salidas del splitter de primer nivel, los cuales serán registrados en cada una de las NAPs. A continuación, se indica la nomenclatura de la distribución en esta zona:

- FD01\_02\_00 (12) (1...9)
- FD02\_02\_00 (12) (1...9)
- FD03\_02\_00 (12) (1...10)
- FD04\_02\_00 (12) (1...10)



**Figura 0-64:** Ubicación de NAPs para la Manga MT03 en Google Earth.

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

#### ZONA IV

En la Tabla 2-18 se determina que la manga troncal MT04 de la zona IV tiene 34 NAPs proyectadas, cada uno de estos estarán identificadas con letras desde la A hasta la I, en la Figura 2-30 se muestra las NAPs en el plano mediante Google Earth. Se fusionan 4hilos de fibra a las salidas del splitter de primer nivel, los cuales serán registrados en cada una de las NAPs. A continuación, se indica la nomenclatura de la distribución en esta zona:

- FD01\_03\_00 (12) (1...8)
- FD02\_03\_00 (12) (1...9)
- FD03\_03\_00 (12) (1...9)
- FD04\_03\_00 (12) (1...9)



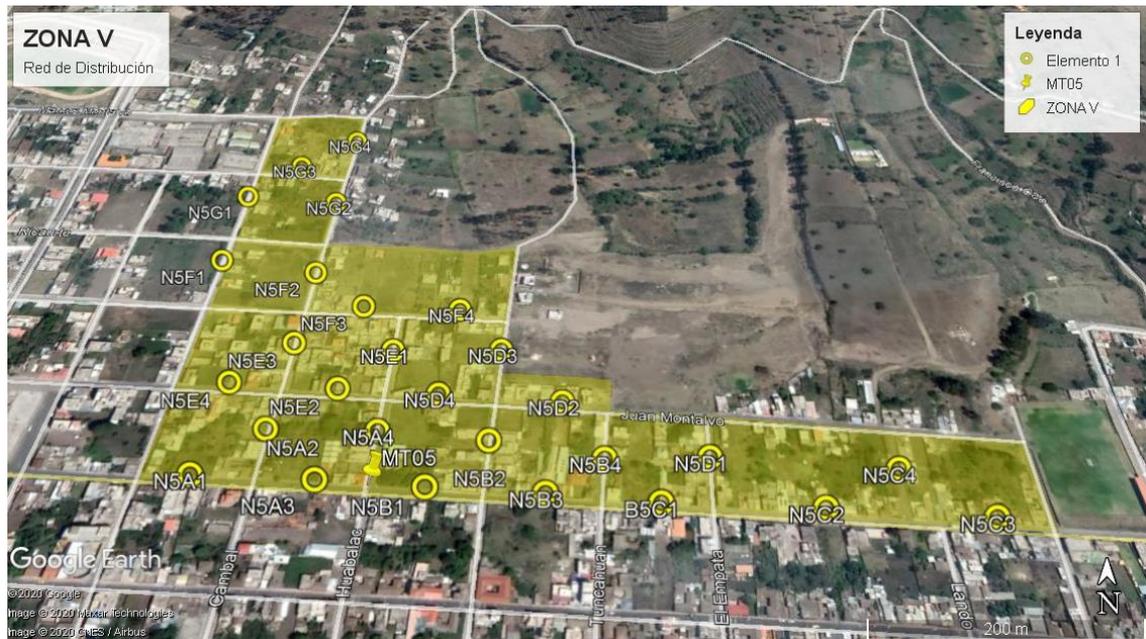
**Figura 0-65:** Ubicación de NAPs para la Manga MT04 en Google Earth.

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

## ZONA V

En la Tabla 2-18 se determina que la manga troncal MT05 de la zona V tiene 27 NAPs proyectadas, cada uno de estos estarán identificadas con letras desde la A hasta la G, en la Figura 2-31 se muestra las NAPs en el plano mediante Google Earth. Se fusionan 3 hilos de fibra a las salidas del splitter de primer nivel, los cuales serán registrados en cada una de las NAPs. A continuación, se indica la nomenclatura de la distribución en esta zona:

- FD01\_04\_00 (12) (1...9)
- FD02\_04\_00 (12) (1...9)
- FD03\_04\_00 (12) (1...10)



**Figura 0-66:** Ubicación de NAPs para la Manga MT05 en Google Earth.

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

## ZONA VI

En la Tabla 2-18 se determina que la manga troncal MT06 de la zona VI tiene 31 NAPs proyectadas, cada uno de estos estarán identificadas con letras desde la A hasta la H, en la Figura 2-32 se muestra las NAPs en el plano mediante Google Earth. Se fusionan 4 hilos de fibra a las salidas del splitter de primer nivel, los cuales serán registrados en cada una de las NAPs. A continuación, se indica la nomenclatura de la distribución en esta zona:

- FD01\_05\_00 (12) (1...8)
- FD02\_05\_00 (12) (1...8)
- FD03\_05\_00 (12) (1...8)
- FD04\_05\_00 (12) (1...8)

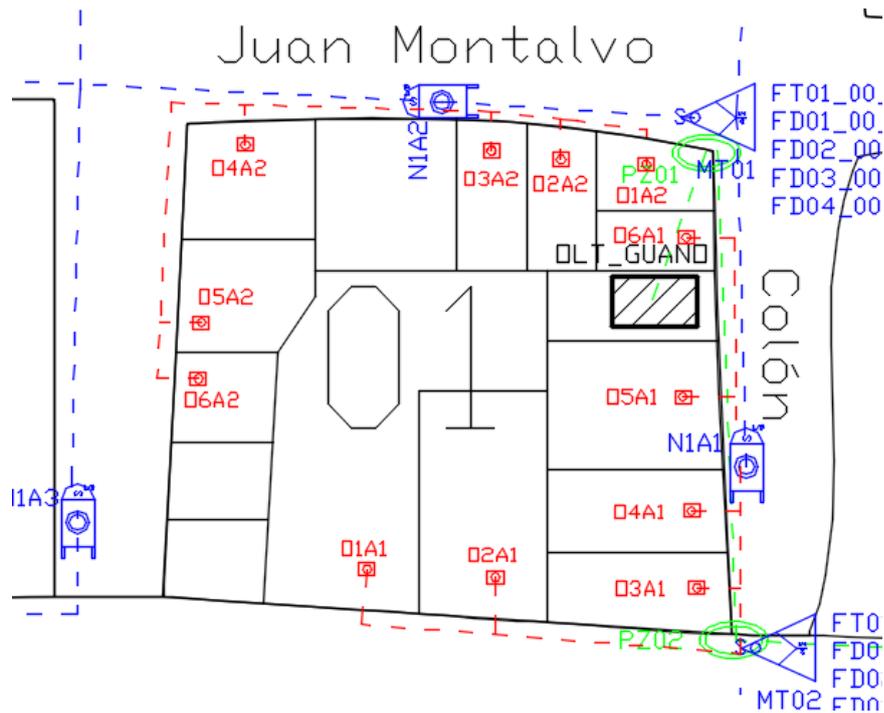


**Figura 0-67:** Ubicación de NAPs para la Manga MT06 en Google Earth.

**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

### 2.14.3 Red de Dispersión

La red de dispersión se origina desde las NAPs y se conectan con el usuario final a través de una fibra óptica monomodo G.657.A1 a la roseta óptica, las cuales estarán en las viviendas de cada usuario, en la Figura 2-33 se muestra un segmento de la red de dispersión. Finalmente, la fibra se puede conectar directamente a la ONT o a la roseta óptica y luego a la ONT y así obtener el servicio Triple play ofertado (Internet, VoIP e IPTV). La Tabla 2-19 muestra la cantidad de materiales implementados por cada zona.



**Figura 0-68:** Red de dispersión.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

**Tabla 2 19:** Equipos utilizados en cada zona.

| Zonas        | Mangas | Splitters<br>1:4 | NAPs       | Splitters<br>1:8 | Rosetas     |
|--------------|--------|------------------|------------|------------------|-------------|
| I            | MT01   | 9                | 34         | 34               | 272         |
| II           | MT02   | 9                | 34         | 34               | 272         |
| III          | MT03   | 9                | 37         | 37               | 296         |
| IV           | MT04   | 9                | 34         | 34               | 272         |
| V            | MT05   | 7                | 27         | 27               | 216         |
| VI           | MT06   | 8                | 31         | 31               | 248         |
| <b>Total</b> |        | <b>51</b>        | <b>197</b> | <b>197</b>       | <b>1576</b> |

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

De la Tabla 2-19 se concluye que para el diseño de la red GPON se necesita 51 splitters de 1:4 197 NAPs, 197 splitters de 1:8 y 1576 rosetas.

#### 2.14.4 Presupuesto Óptico

Para el cálculo se considera lo siguiente:

- Atenuación de conectores, fusiones, ODFs, splitters y la fibra óptica.
- Pérdidas de longitud de onda a utilizarse como 1310nm tiene 0.35 dB; 1490nm, 0.30 dB y para 1510nm tiene pérdidas de 0.25 dB.

La finalidad de este análisis es determinar las condiciones físicas para que la red funcione de una manera correcta, para lo cual se realiza los cálculos para el usuario lejano y cercano respectivamente, basados en la norma (ITU-T G.984.2). Para lo cual se utilizó la siguiente ecuación:

$$aT = aF + aC + aE + anivel1 + anivel2 + Margen\ de\ guarda$$

Donde:

$aT$ : Atenuación total

$aF$ : Atenuación de la fibra óptica x distancia

$aC$ : Atenuación por conectores x número de conectores.

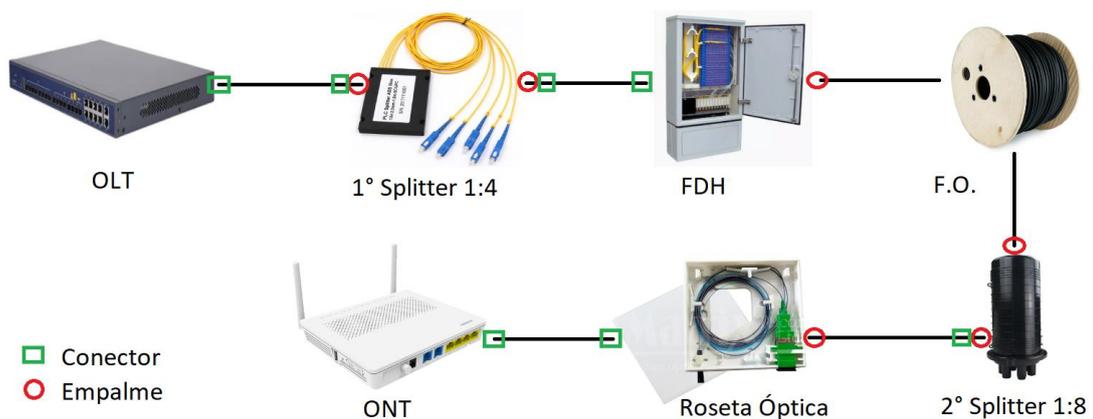
$aE$ : Atenuación de empalme x número de empalmes

$anivel1$ : Atenuación del primer nivel de splitters.

$anivel2$ : Atenuación del segundo nivel de splitters

Margen de guarda: 3dB.

Para el desarrollo de este análisis se toma como referencia el modelo masivo- casas como se muestra en la Figura 2-34 implementado por la empresa CNT.



**Figura 0-69:** Modelo masivo – casas.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

#### *2.14.4.1. Cálculo óptico usuario más cercano*

En la Tabla 2-20 se muestra los cálculos realizados de las pérdidas totales con respecto al usuario más cercano de cada zona, tomando en consideración el peor de los casos la longitud de onda de 1310 nm.

**Tabla 0-20:** Atenuación total del usuario más cercano.

| Elementos         |         | ZONA I     |          |              | ZONA II    |          |              | ZONA III   |          |              |
|-------------------|---------|------------|----------|--------------|------------|----------|--------------|------------|----------|--------------|
|                   |         | Atenuación | Cantidad | Total        | Atenuación | Cantidad | Total        | Atenuación | Cantidad | Total        |
| Conectores        |         | 0,5        | 7        | 3,5          | 0,5        | 7        | 3,5          | 0,5        | 7        | 3,5          |
| Fusiones          |         | 0,1        | 6        | 0,6          | 0,1        | 6        | 0,6          | 0,1        | 6        | 0,6          |
| Fibra             | 1310 nm | 0,35       | 0,06804  | 0,024        | 0,35       | 0,11054  | 0,039        | 0,35       | 0,27455  | 0,096        |
|                   | 1410 nm | 0,3        | 0        | 0            | 0,3        | 0        | 0            | 0,3        | 0        | 0            |
|                   | 1550 nm | 0,25       | 0        | 0            | 0,25       | 0        | 0            | 0,25       | 0        | 0            |
| Margen de guarda  |         | 3          | 1        | 3            | 3          | 1        | 3            | 3          | 1        | 3            |
| Nivel de splitter | 1:4     | 7,3        | 1        | 7,3          | 7,3        | 1        | 7,3          | 7,3        | 1        | 7,3          |
|                   | 1:8     | 10,7       | 1        | 10,7         | 10,7       | 1        | 10,7         | 10,7       | 1        | 10,7         |
| <b>Total</b>      |         |            |          | <b>25,12</b> |            |          | <b>25,14</b> |            |          | <b>25,20</b> |

| Elementos<br>Zonas   |         | ZONA IV    |          |              | ZONA V     |          |              | ZONA VI    |          |              |
|----------------------|---------|------------|----------|--------------|------------|----------|--------------|------------|----------|--------------|
|                      |         | Atenuación | Cantidad | Total        | Atenuación | Cantidad | Total        | Atenuación | Cantidad | Total        |
| Conectores           |         | 0,5        | 7        | 3,5          | 0,5        | 7        | 3,5          | 0,5        | 7        | 3,5          |
| Fusiones             |         | 0,1        | 6        | 0,6          | 0,1        | 6        | 0,6          | 0,1        | 6        | 0,6          |
| Fibra                | 1310 nm | 0,35       | 0,46566  | 0,163        | 0,35       | 0,63643  | 0,223        | 0,35       | 0,82144  | 0,288        |
|                      | 1410 nm | 0,3        | 0        | 0            | 0,3        | 0        | 0            | 0,3        | 0        | 0            |
|                      | 1550 nm | 0,25       | 0        | 0            | 0,25       | 0        | 0            | 0,25       | 0        | 0            |
| Margen de guarda     |         | 3          | 1        | 3            | 3          | 1        | 3            | 3          | 1        | 3            |
| Nivel de<br>splitter | 1:4     | 7,3        | 1        | 7,3          | 7,3        | 1        | 7,3          | 7,3        | 1        | 7,3          |
|                      | 1:8     | 10,7       | 1        | 10,7         | 10,7       | 1        | 10,7         | 10,7       | 1        | 10,7         |
| <b>Total</b>         |         |            |          | <b>25,26</b> |            |          | <b>25,32</b> |            |          | <b>25,39</b> |

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

2.14.4.2. Cálculo óptico usuario más lejano

En la Tabla 2-21 se muestra la atenuación total de cada zona con respecto a cada usuario lejano, tomando en consideración el peor de los casos la longitud de onda de 1310 nm.

**Tabla 0-21:** Atenuación total del usuario más lejano

| Elementos         |         | ZONA I     |          |              | ZONA II    |          |              | ZONA III   |          |              |
|-------------------|---------|------------|----------|--------------|------------|----------|--------------|------------|----------|--------------|
|                   |         | Atenuación | Cantidad | Total        | Atenuación | Cantidad | Total        | Atenuación | Cantidad | Total        |
| Conectores        |         | 0,5        | 7        | 3,5          | 0,5        | 7        | 3,5          | 0,5        | 7        | 3,5          |
| Fusiones          |         | 0,1        | 6        | 0,6          | 0,1        | 6        | 0,6          | 0,1        | 6        | 0,6          |
| Fibra             | 1310 nm | 0,35       | 0,60413  | 0,211        | 0,35       | 0,62827  | 0,220        | 0,35       | 0,80594  | 0,282        |
|                   | 1410 nm | 0,3        | 0        | 0            | 0,3        | 0        | 0            | 0,3        | 0        | 0            |
|                   | 1550 nm | 0,25       | 0        | 0            | 0,25       | 0        | 0            | 0,25       | 0        | 0            |
| Margen de guarda  |         | 3          | 1        | 3            | 3          | 1        | 3            | 3          | 1        | 3            |
| Nivel de splitter | 1:4     | 7,3        | 1        | 7,3          | 7,3        | 1        | 7,3          | 7,3        | 1        | 7,3          |
|                   | 1:8     | 10,7       | 1        | 10,7         | 10,7       | 1        | 10,7         | 10,7       | 1        | 10,7         |
| <b>Total</b>      |         |            |          | <b>25,31</b> |            |          | <b>25,32</b> |            |          | <b>25,38</b> |

| Elementos<br>Zonas |         | ZONA IV    |          |              | ZONA V     |          |              | ZONA VI    |          |              |
|--------------------|---------|------------|----------|--------------|------------|----------|--------------|------------|----------|--------------|
|                    |         | Atenuación | Cantidad | Total        | Atenuación | Cantidad | Total        | Atenuación | Cantidad | Total        |
| Conectores         |         | 0,5        | 7        | 3,5          | 0,5        | 7        | 3,5          | 0,5        | 7        | 3,5          |
| Fusiones           |         | 0,1        | 6        | 0,6          | 0,1        | 6        | 0,6          | 0,1        | 6        | 0,6          |
| Fibra              | 1310 nm | 0,35       | 1,03731  | 0,363        | 0,35       | 1,09247  | 0,382        | 0,35       | 1,33012  | 0,466        |
|                    | 1410 nm | 0,3        | 0        | 0            | 0,3        | 0        | 0            | 0,3        | 0        | 0            |
|                    | 1550 nm | 0,25       | 0        | 0            | 0,25       | 0        | 0            | 0,25       | 0        | 0            |
| Margen de guarda   |         | 3          | 1        | 3            | 3          | 1        | 3            | 3          | 1        | 3            |
| Nivel de splitter  | 1:4     | 7,3        | 1        | 7,3          | 7,3        | 1        | 7,3          | 7,3        | 1        | 7,3          |
|                    | 1:8     | 10,7       | 1        | 10,7         | 10,7       | 1        | 10,7         | 10,7       | 1        | 10,7         |
| <b>Total</b>       |         |            |          | <b>25,46</b> |            |          | <b>25,48</b> |            |          | <b>25,57</b> |

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

### **2.14.5 Cálculo del balance óptico de potencia**

Es la cantidad de luz necesaria para transmitir señales con éxito a una distancia a través de una red de fibra óptica. Esta indica la distancia que se puede abarcar con enlaces de fibra óptica entre conversores de medios en la red. Las estimaciones de potencia óptica son críticas para ayudar a determinar cuánto se pueden extender las redes ópticas sin experimentar problemas con la señal se utiliza la fórmula siguiente:

$$PRX \leq PTX - \alpha TOTAL$$

Donde:

$PRX$  = Potencia mínima de sensibilidad de recepción del equipo

$PTX$  = Potencia máxima del transmisor óptico

$\alpha TOTAL$  = Total de pérdidas.

La sensibilidad máxima de recepción es -28 dBm y la potencia de transmisión de 5 dBm establecida por la norma (ITU-T G.984.2) Clase B+, los mismos que serán utilizados para el cálculo. A continuación, se muestra el cálculo del usuario más cercano y lejano de la red.

#### **2.14.5.1. Balance óptico de potencia del usuario más cercano**

De la Tabla 2-20 se usarán los valores de las pérdidas totales en los cálculos, La Tabla 2-22 muestra los valores obtenidos en las seis mangas que pertenecen a nuestra área de estudio.

**Tabla 0-22:** Balance óptico del usuario más cercano

| Zona       | Potencia dBm |
|------------|--------------|
| I - MTO1   | -20.12       |
| II - MTO2  | -20.14       |
| III - MTO3 | -20.2        |
| IV - MTO4  | -20.26       |
| VI - MTO5  | -20.32       |
| VI - MTO6  | -20.39       |

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

De la Tabla 2-22 se concluye que el balance óptico es el adecuado ya que no sobrepasan la sensibilidad mínima de recepción de -28 dBm. Y la zona I representa el mejor balance óptico de potencia en relación de las demás zonas.

#### *2.14.5.2. Balance óptico de potencia del usuario más lejano*

De la Tabla 2-21 se usarán los valores de las pérdidas totales en los cálculos, La Tabla 2-23 muestra los valores obtenidos en las seis mangas que pertenecen a nuestra área de estudio.

**Tabla 0-23:** Balance óptico del usuario más lejano

| Zona       | Potencia dBm |
|------------|--------------|
| I - MTO1   | -20.31       |
| II - MTO2  | -20.32       |
| III - MTO3 | -20.38       |
| IV - MTO4  | -20.46       |
| VI - MTO5  | -20.48       |
| VI - MTO6  | -20.57       |

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

De la Tabla 2-23 se concluye que el balance óptico es el adecuado ya que no sobrepasan la sensibilidad de recepción de -28 dBm establecida por (ITU-T G.984.2, 2003). Y la zona I representa el mejor balance óptico de potencia en relación de las demás zonas.

## CAPITULO III

### 3 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se analiza los resultados del diseño de la red GPON con una simulación, mediante pruebas de transmisión, pruebas de recepción en donde se evalúa el Factor Q, la tasa de bit errado el diagrama de ojo y la sensibilidad. Finalmente se realiza un análisis de inversión de la red de acceso total.

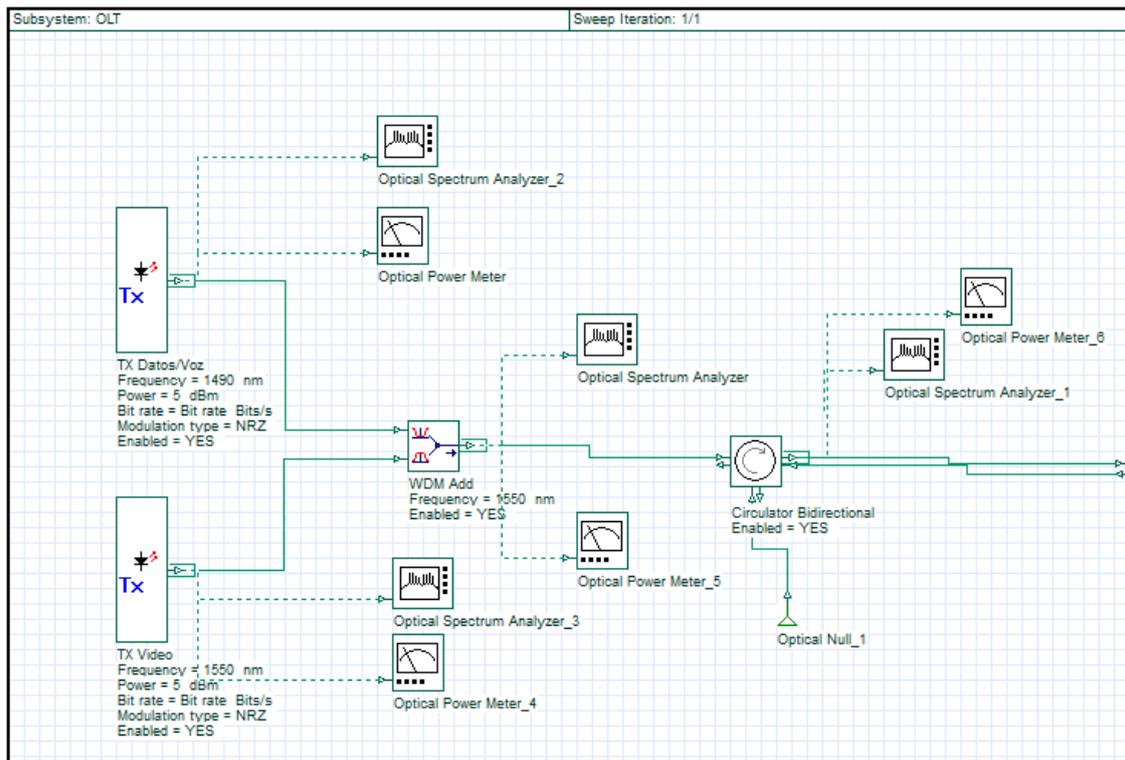
#### 3.1 Simulación de la red GPON

Se utiliza el software de diseño Optisystem versión 7.0 del año 2008, el cual nos permite determinar si los resultados obtenidos en el Capítulo 2 son los correctos con respecto a la simulación, la misma que está desarrollada en tres etapas, como se detallará a continuación. Los elementos utilizados en la simulación se muestran en el Anexo C.

##### 3.1.1 *Configuración de OLT*

Para simular la OLT se utilizó los siguientes equipos en el software Optisystem como se observa en la Figura 3-1:

- Transmisor óptico WDM: Longitud de onda de 1490 nm para transmitir datos y voz
- Transmisor de video: Longitud de onda de 1550 nm.
- Para la modulación de estas dos señales se usará un WDM Add.



**Figura 3-70:** Equipos utilizados en la simulación de la OLT

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

Los parámetros configurados en esta etapa son la tasa de bit error, la potencia, el tipo de modulación NRZ la cual emite un cero como amplitud mínima y uno como amplitud máxima. Los demás parámetros no serán modificados, debido a que son configuraciones por defecto en el programa. En esta etapa la simulación se lo realiza en downstream ver Figura 3-2, por lo que el valor de la potencia es de 5 dBm.

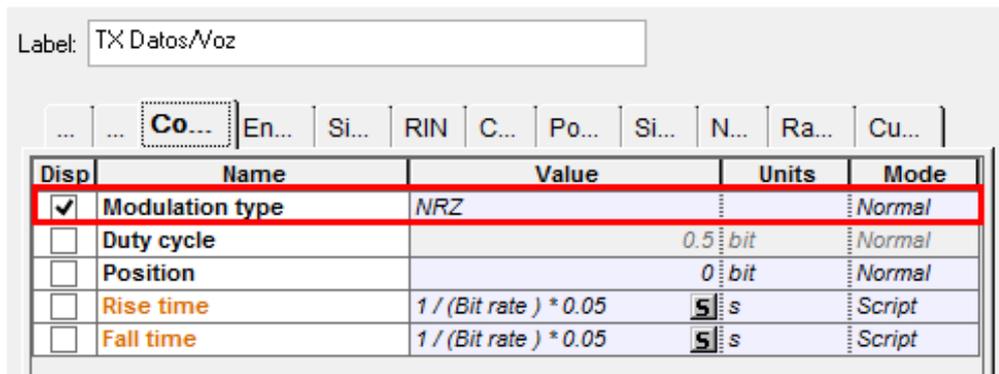
Label: TX Datos/Voz

| Disp                                | Name                   | Value | Units | Mode   |
|-------------------------------------|------------------------|-------|-------|--------|
| <input type="checkbox"/>            | Number of output ports | 1     |       | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Frequency              | 1490  | nm    | Normal |
| <input type="checkbox"/>            | Frequency spacing      | 100   | GHz   | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Power                  | 5     | dBm   | Normal |
| <input type="checkbox"/>            | Extinction ratio       | 10    | dB    | Normal |
| <input type="checkbox"/>            | Linewidth              | 10    | MHz   | Normal |
| <input type="checkbox"/>            | Initial phase          | 0     | deg   | Normal |

**Figura 3-71:** Configuración de Potencia

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

A continuación, se configura la modulación a implementarse que es sin retorno a cero NRZ como se muestra en la Figura 3-3.



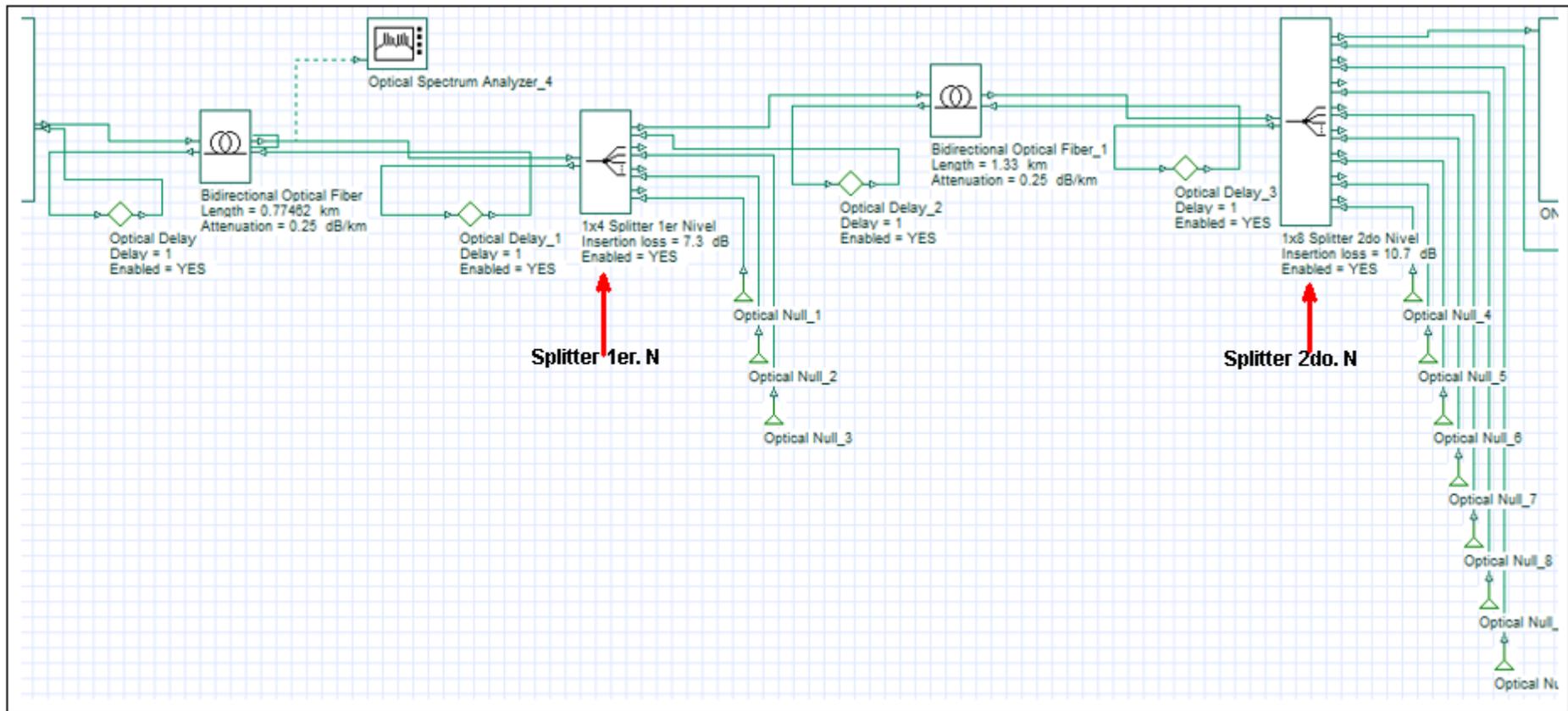
**Figura 3-72:** Configuración de Modulación sin retorno a cero

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

Las configuraciones para el bloque de TX de video son similares al primer bloque con la única diferencia que configuramos la longitud de onda en 1550 nm.

### 3.1.2 Configuración de la ODN

La Figura 3-4 muestra la red de distribución óptica, que se compone por el primer y segundo nivel de división, la cual están conectados con un enlace de fibra óptica.



**Figura 3-73:** Configuración de ODN

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

Como se observa en la Figura 3-4 el splitter de primer nivel está configurado como 1:4 con una atenuación de 7.3 dB y el splitter de segundo nivel una relación de 1:8 con 10.7 dB de pérdidas.

El primer módulo de fibra se encuentra configurado la distancia (OLT hacia la manga más lejana), la longitud de onda de 1310 nm y la atenuación de esta longitud de onda es de 0.35 dB como se muestra en la Figura 3-5.

| Main   Dis...   PMD   No...   Enh...   Nu...   Gr...   Sim...   Noise   Ran... |                           |                                     |       |        |
|--|---------------------------|-------------------------------------|-------|--------|
| Disp   | Name                      | Value                               | Units | Mode   |
| <input type="checkbox"/>   | User defined reference wa | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>   | Reference wavelength      | 1310                                | nm    | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/>  | Length                    | 0.77462                             | km    | Normal |
| <input type="checkbox"/>   | Attenuation effect        | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>   | Attenuation data type     | Constant                            |       | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/>  | Attenuation               | 0.35                                | dB/km | Normal |
| <input type="checkbox"/>   | Attenuation vs. wavelengt | Attenuation.dat                     | ...   | Normal |

Figura 3-74: Configuración módulo fibra óptica de primer nivel

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

En el segundo módulo de fibra óptica se configura la distancia desde la manga hasta la ONT más lejana como se muestra en la Figura 3-6.

| Main   Dis...   PMD   No...   Enh...   Nu...   Gr...   Sim...   Noise   Ran... |                           |                                     |       |        |
|--|---------------------------|-------------------------------------|-------|--------|
| Disp   | Name                      | Value                               | Units | Mode   |
| <input type="checkbox"/>   | User defined reference wa | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>   | Reference wavelength      | 1310                                | nm    | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/>  | Length                    | 1.27                                | km    | Normal |
| <input type="checkbox"/>   | Attenuation effect        | <input checked="" type="checkbox"/> |       | Normal |
| <input type="checkbox"/>   | Attenuation data type     | Constant                            |       | Normal |
| <input checked="" type="checkbox"/>  | Attenuation               | 0.35                                | dB/km | Normal |
| <input type="checkbox"/>   | Attenuation vs. wavelengt | Attenuation.dat                     | ...   | Normal |

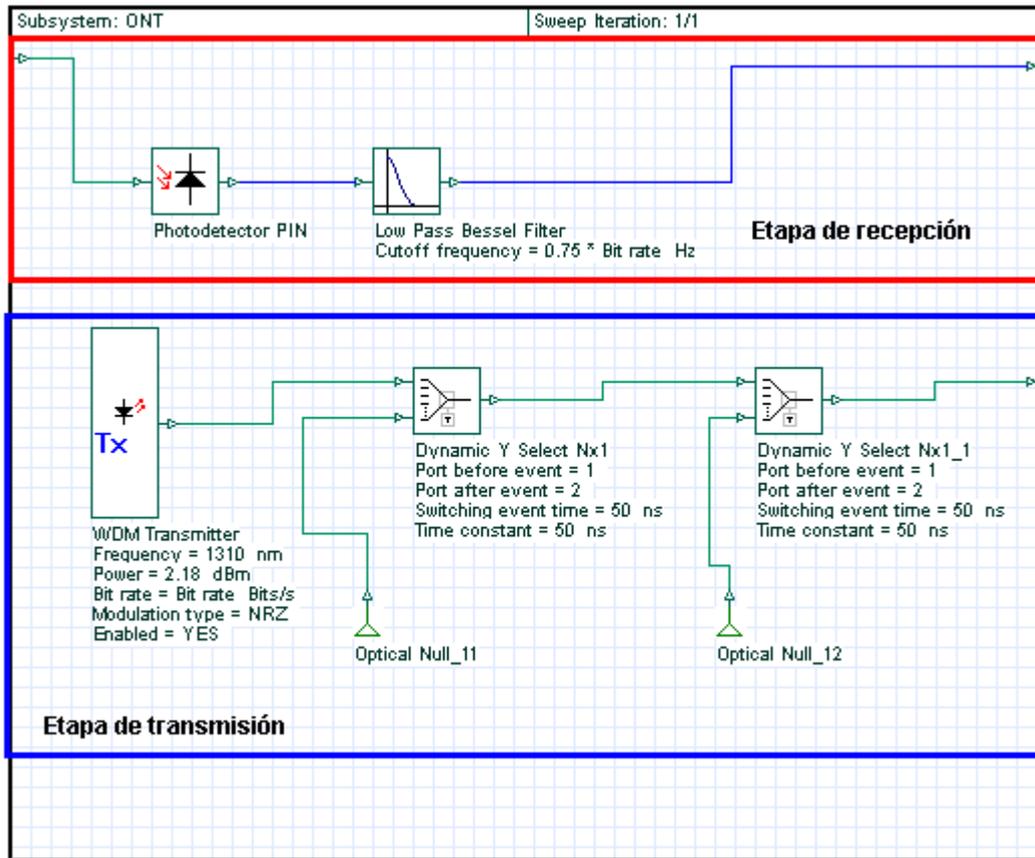
Figura 3-75: Configuración Fibra Óptica-distancia manga-ONT

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

### 3.1.3 Configuración de la ONT

En este apartado es del usuario final la cual recibe el servicio triple play. Para el servicio de datos y VoIP se configura una etapa de transmisión. Es decir, la ONT está compuesta por una etapa de recepción de la señal y otra para la transmisión hacia la OLT. En el bloque de recepción se utilizó un módulo PIN Photodiode, con el objetivo de convertir la señal óptica en eléctrica enviada por la OLT. Para eliminar el ruido de la señal se debe utilizar un filtro, en este caso se optó por el

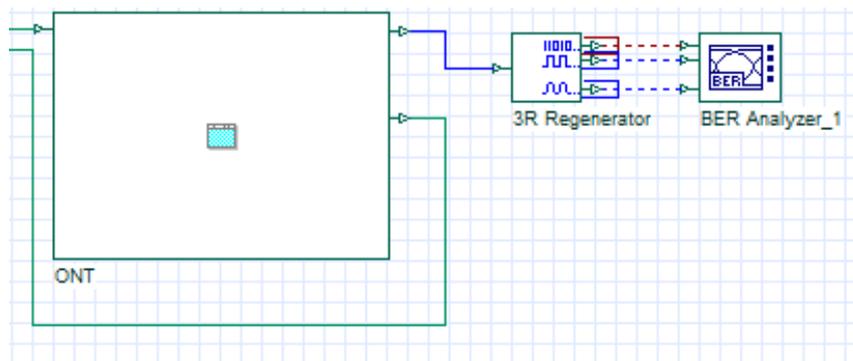
módulo (Filtro pasa bajo de Bessel) como se muestra en la Figura 3-7, las características de este filtro son: es lineal, y es utilizado ampliamente en aplicaciones de audio y video. Para la transmisión de voz y datos en upstream, se utilizó un módulo *WDM Transmitter* en el que se configura la longitud de onda de 1310 nm. Para limitar el intervalo de tiempo de envío de la señal se usó un bloque *Dynamic Y Select Nx1* con el objetivo de simular el proceso de TDMA (Acceso Múltiple por división de tiempo).



**Figura 3-76:** Etapa de recepción y transmisión de la ONT

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

Estas dos etapas están dentro de un subsistema denominado ONT, para visualizar la señal transmitida desde la OLT se añade dos bloques denominados *3R Generator*, el cual regenera la señal eléctrica y luego pasa a un bloque *BER Analyzer* como se muestra en la Figura 3-8.



**Figura 3-77:** Configuración ONT visualización de la señal

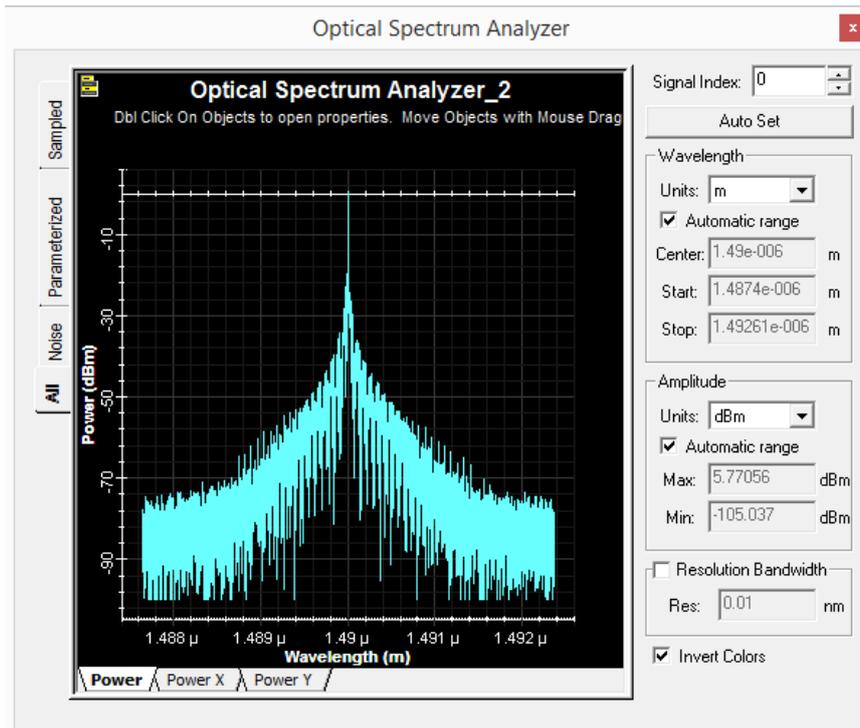
**Realizado por:** Morejón, Jayro; 2021

### 3.2 Resultados de la simulación

Los parámetros a considerar para el buen funcionamiento de la simulación son: el espectro de la señal de transmisión, en la recepción consideraremos los siguientes parámetros: el Factor Q, BER, diagrama de ojo y potencia en downstream y upstream, estos valores deben estar dentro de la recomendación en ITU-G984.2.

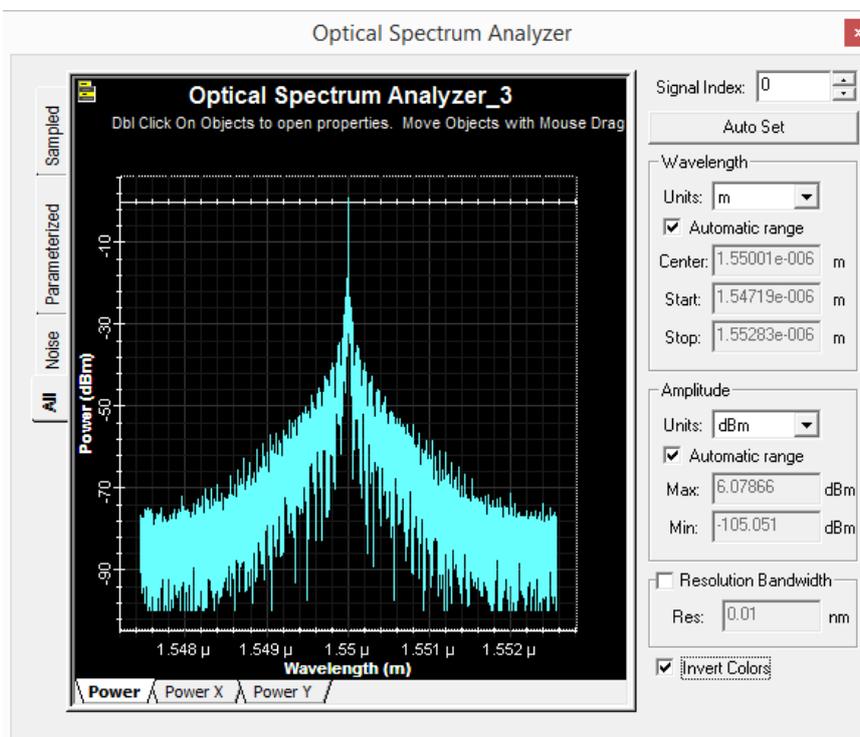
#### 3.2.1 Resultados obtenidos en la etapa de transmisión

En esta etapa se encuentra la OLT el cual utiliza dos módulos de transmisión. Para visualizar la señal generada de voz y datos, con una longitud de onda de 1490 nm se utiliza un analizador de espectros y los resultados obtenidos se muestra en la Figura 3-9, la señal de video generada con una longitud de onda de 1550 nm se observa en la Figura 3-10.



**Figura 3-78:** Análisis del espectro de la señal de datos/voz.

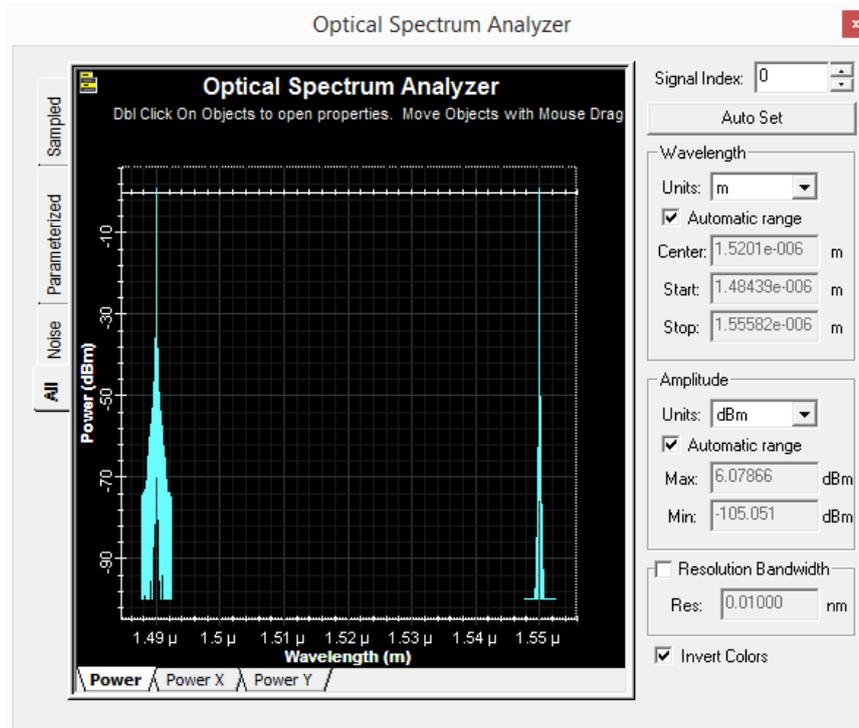
Realizado por: Morejón, Jayro; 2021



**Figura 3-79:** Análisis del espectro de la señal de video.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

A continuación, se procede a modular las dos señales de transmisión, para lo cual se emplea un *WDM Add* con el objetivo de transmitir estas señales por el mismo medio de transmisión como se observa en la Figura 3-11 en este caso la fibra óptica.



**Figura 3-80:** Resultado de la modulación.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

### 3.2.2 Resultados obtenidos en la etapa de recepción

En este apartado se analizará la recepción de la señal transmitida por parte de la OLT, los parámetros a considerar son el Factor Q, el BER, el diagrama de ojo y la potencia recibida. Para lo cual se utiliza módulos como el analizador de BER y el medidor de potencia óptica.

#### 3.2.2.1 Factor Q y BER

Para analizar estos parámetros se empleó un analizador de bits errados (BER). Tomando como referencia al usuario más cercano localizado en la zona I y la NAP más lejana que se encuentra en la zona VI, estos valores se pueden observar en la Tabla 3-1.

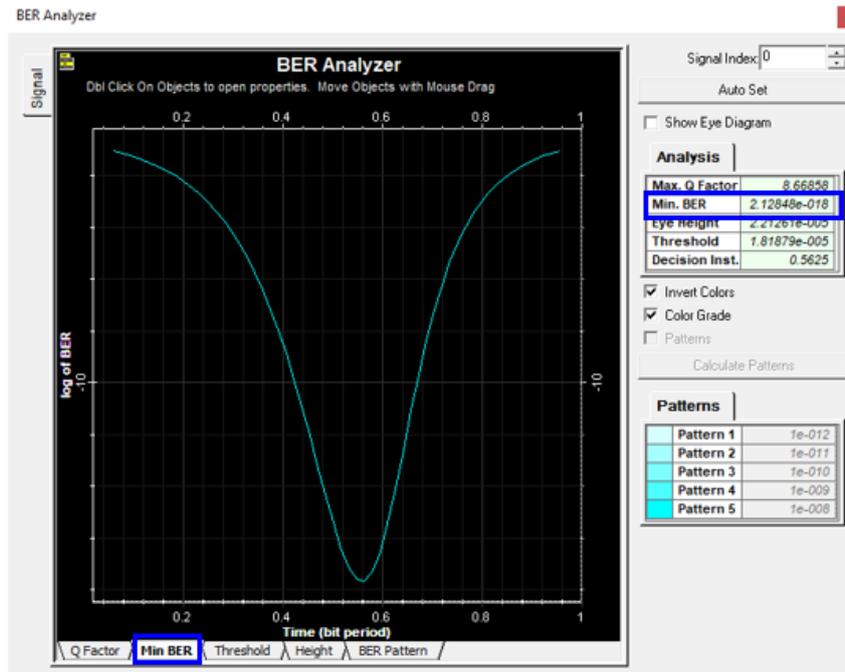
**Tabla 3-24:** BER-Factor Q – NAPs cercanas y lejanas.

| Parámetros      | Zona            | NAP  | Cercana           | NAP  | Lejana            |
|-----------------|-----------------|------|-------------------|------|-------------------|
| <b>BER</b>      | ZONA I          | N1A1 | 2,13x10-18        | N1D3 | 6,12x10-18        |
|                 | ZONA II         | N2A1 | 2,68x10-18        | N2E3 | 6,73x10-18        |
|                 | ZONA III        | N3A1 | 4,84x10-18        | N3J2 | 1,65x10-17        |
|                 | ZONA IV         | N4A1 | 5,66x10-18        | N4I3 | 2,37x10-17        |
|                 | ZONA V          | N5A1 | 2,37x10-17        | N5C3 | 6,05x10-17        |
|                 | ZONA VI         | N6A2 | 3,02x10-17        | N6D2 | 1,18x10-16        |
|                 | <b>PROMEDIO</b> |      | <b>1,15x10-17</b> |      | <b>3,86x10-17</b> |
| <b>Factor Q</b> | ZONA I          | N1A1 | 8,67              | N1D3 | 8,55              |
|                 | ZONA II         | N2A1 | 8,64              | N2E3 | 8,54              |
|                 | ZONA III        | N3A1 | 8,54              | N3J2 | 8,43              |
|                 | ZONA IV         | N4A1 | 8,56              | N4I3 | 8,39              |
|                 | ZONA V          | N5A1 | 8,39              | N5C3 | 8,28              |
|                 | ZONA VI         | N6A2 | 8,36              | N6D2 | 8,2               |
|                 | <b>PROMEDIO</b> |      | <b>8,53</b>       |      | <b>8,40</b>       |

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

### 3.2.2.1.1 Usuario más cercano

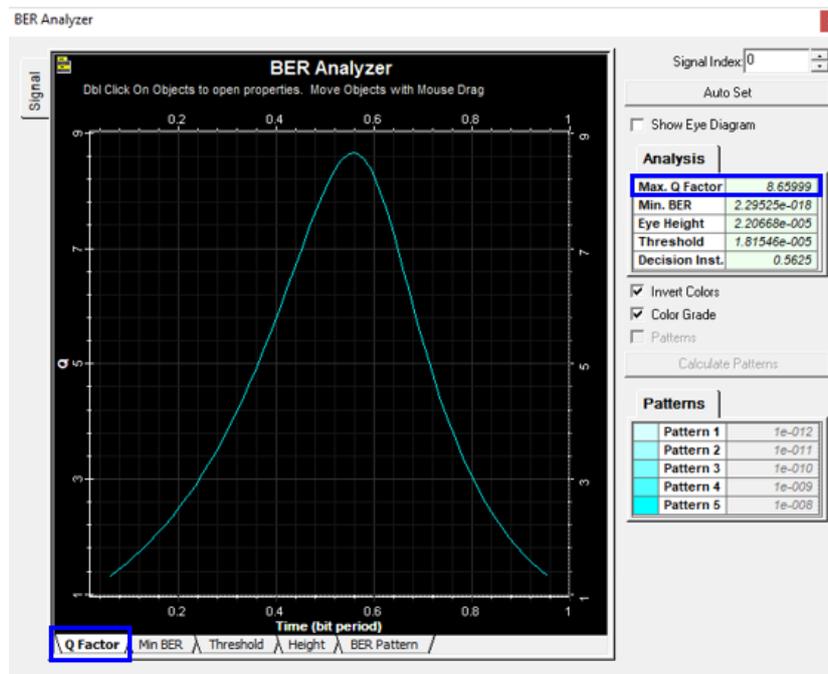
Este usuario se encuentra en la zona I, determinado por el código N1A1, el cual se encuentra a 30m de la OLT. La Figura 3-12 muestra un BER mínimo de  $2.13 \times 10^{-18}$ , este valor es menor a  $10^{-10}$  por lo que se concluye que está dentro del valor estipulado en la norma (ITU-T G.984.2).



**Figura 3-81:** Mínimo BER usuario cercano.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

El Factor Q se muestra en la Figura 3-13, el cual tiene un valor de 8.66. Por lo que se concluye que cumple la norma (ITU-T G.984.2) ya que es mayor a 6.

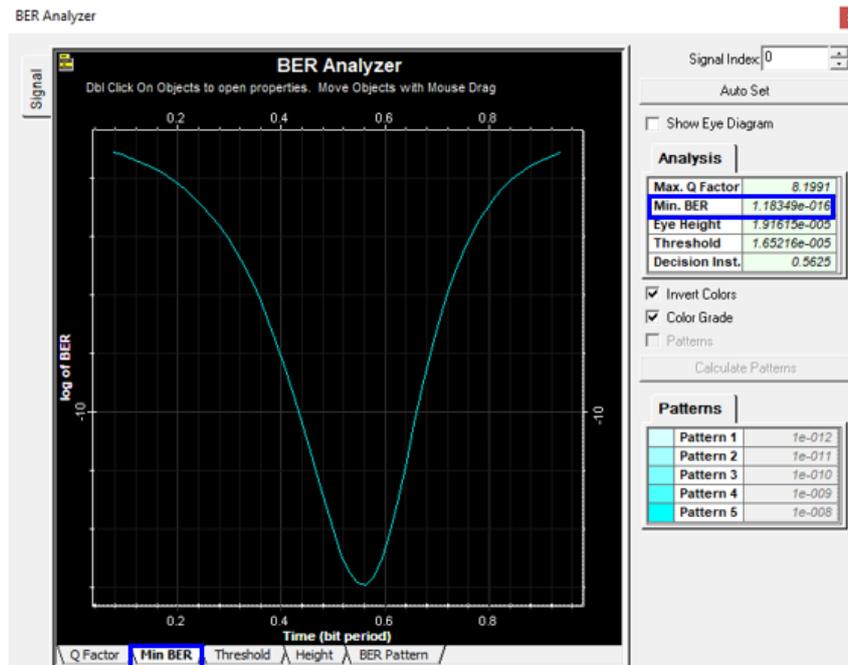


**Figura 3-82:** Factor Q usuario cercano.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

### 3.2.2.1.2 Usuario más lejano

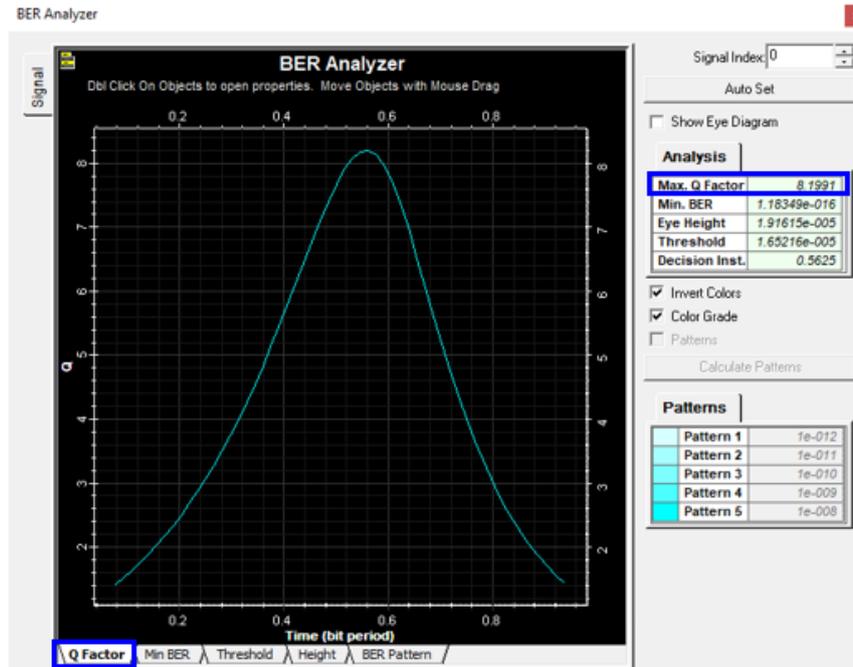
Localizado en la zona VI cuya identificación se encuentra como N6D2 a una distancia de 1270 metros de la OLT. La tasa de bit error mínimo se observa en la Figura 3-14, la cual tiene un valor de  $1.18 \times 10^{-16}$  por lo tanto cumple con la norma.



**Figura 3-83:** BER mínimo usuario lejano.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

El Factor Q se muestra en la Figura 3-15 la cual tiene un valor de 8.20 y cumple con la normativa.

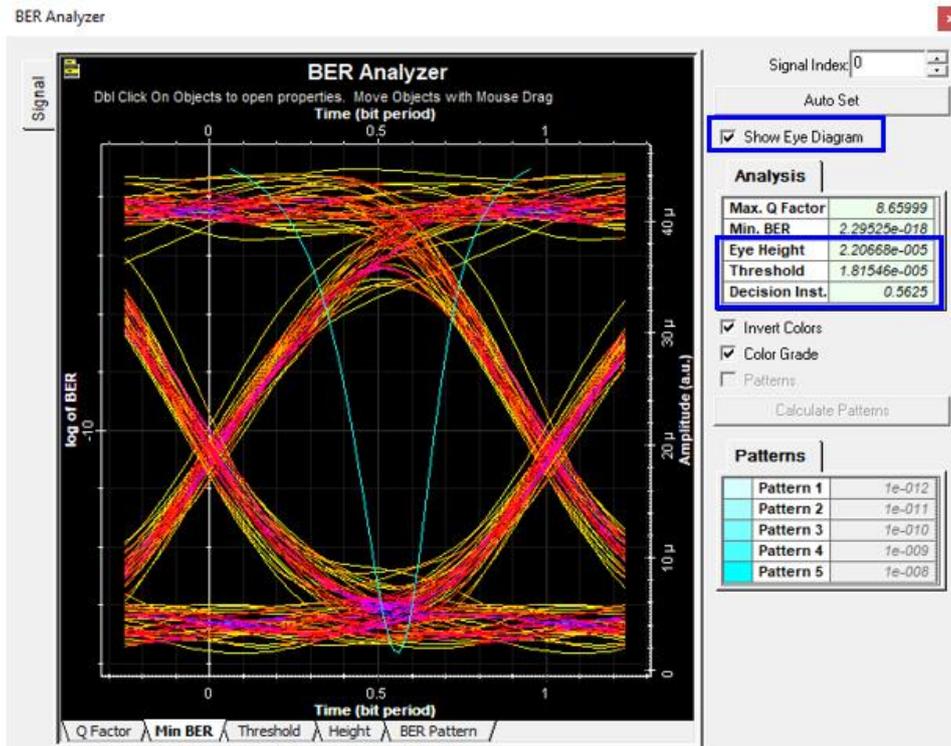


**Figura 3-84:** Factor Q usuario lejano.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

### 3.2.2.2 Diagrama de ojo usuario cercano

El objetivo de este análisis es verificar la eficiencia del enlace de transmisión, considerando de igual manera el Factor Q, la tasa de bit error, la altura y el límite de apertura del ojo. La Figura 3-16 muestra el diagrama de ojo de la señal obtenida.



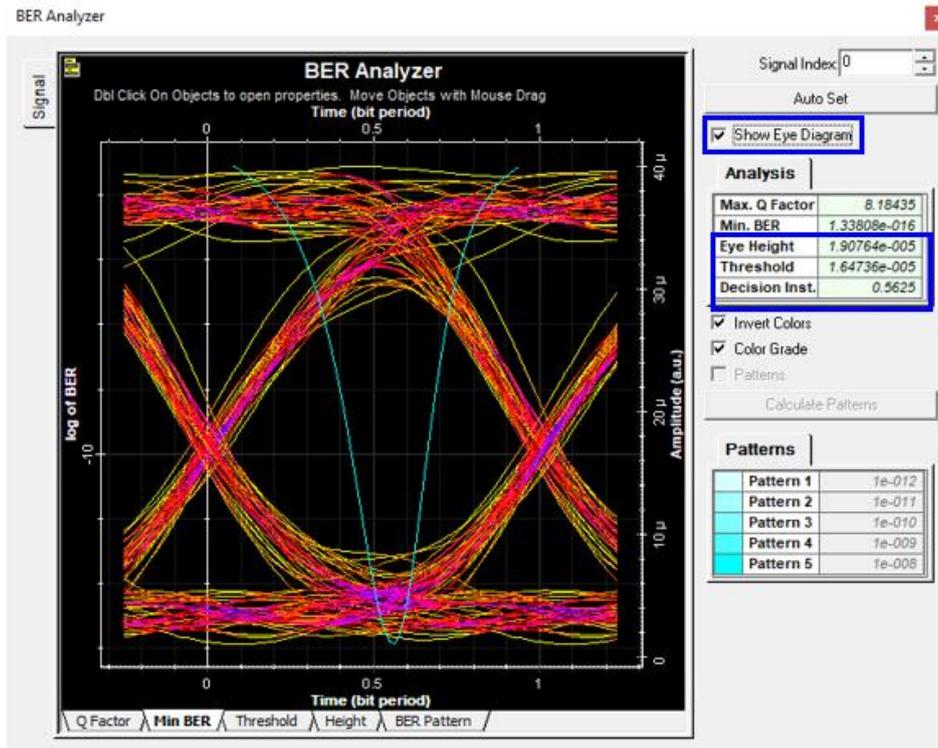
**Figura 3-85:** Diagrama de ojo usuario cercano.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

El resultado obtenido muestra que el factor de calidad en el punto 0.56 tiene mayor probabilidad de transmisión con ruido mínimo, aunque el jitter y la apertura del ojo es bastante aceptable, esto es debido a que la tasa de bit errado se encuentra dentro del valor permitido por la normativa.

### 3.2.2.3 Diagrama de ojo usuario lejano

En la Figura 3-17 se muestra el diagrama de ojo del usuario más lejano localizado en la zona VI.



**Figura 3-86:** Diagrama de ojo usuario lejano.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

El resultado obtenido muestra que el factor de calidad en el punto 0.56 tiene mayor probabilidad de transmisión, se observa que el ruido aumenta, esto se debe a que la distancia aumenta, el jitter y la apertura del ojo es bastante aceptable, esto es debido a que la tasa de bit errada se encuentra dentro del valor permitido por la normativa.

#### 3.2.2.4 Potencia de recepción del usuario cercano

La potencia que existe en la ONT de este usuario es de -20.54 dBm como se muestra en la Figura 3-18, el cual presenta una pequeña diferencia de 0.42 dBm con el valor obtenido de -20.12 dBm en el Capítulo II, lo que da como resultado un enlace óptimo correcto ya que se encuentra dentro del valor permitido de -28 dBm establecido por la normativa.



**Figura 3-87:** Potencia en la ONT downstream.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

La potencia que existe en la OLT, tomando como referencia el envío de este usuario se obtiene un valor de -21.62 dBm como se muestra en la Figura 3-19, lo que da como resultado un enlace óptimo correcto ya que se encuentra dentro del valor permitido de -28 dBm establecido por la normativa.



**Figura 3-88:** Potencia en la OLT upstream.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

### 3.2.2.5 Potencia de recepción del usuario lejano

La potencia que existe en la ONT de este usuario es de -21.582 dBm como se muestra en la Figura 3-20, el cual presenta una pequeña diferencia de 1.012 dBm con el valor obtenido de -20.57 dBm en el Capítulo II, lo que da como resultado un enlace óptimo correcto ya que este valor se encuentra dentro del valor permitido de -28 dBm por la normativa.



**Figura 3-89:** Potencia en la ONT lejana downstream.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

La potencia que existe en la OLT, tomando como referencia el envío de este usuario se obtiene un valor de -22.123 dBm como se muestra en la Figura 3-21, lo que da como resultado un enlace óptimo correcto ya que se encuentra dentro del valor permitido de -28 dBm establecido por la normativa.



**Figura 3-90:** Potencia en la OLT upstream.

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

### 3.3 Inversión

En este apartado se realiza una estimación de costos de inversión para implementar la red GPON en la zona urbana del cantón Guano. Este presupuesto se estructura de la siguiente manera: en la Tabla 3-2 se muestra la inversión de la red Feeder, la Tabla 3-3 el presupuesto de la red de distribución, la Tabla 3-4 los costos de la red de dispersión y en la Tabla 3-5 se muestra la inversión en equipos activos.

**Tabla 3-25:** Inversión de la Red Troncal.

| <b>RED FEEDER</b>  |                 |               |                           |                        |
|--|-----------------|---------------|---------------------------|------------------------|
| <b>Descripción</b>   | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b> | <b>Precio unitario \$</b> | <b>Precio total \$</b> |
| Fusión de 1 hilo de fibra                                      | 51              | U             | 11.93                     | 608.43                 |
| Instalación y colocación de mangas de 12 hilos                 | 6               | U             | 56.00                     | 336.00                 |
| Instalación de porta reservas fibra óptica en pozos            | 3               | U             | 14.12                     | 42.36                  |
| Canalización Fibra 288 monomodo G652.D                         | 775             | metros        | 4.21                      | 3262.75                |
| Suministro y tendido de cable canalizado 12 FO monomodo G652.D | 1330            | metros        | 1.59                      | 2114.70                |
| <b>TOTAL</b>   |                 |               |                           | 6,364.24               |

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

**Tabla 3-26:** Inversión Red de distribución.

| <b>RED DE DISTRIBUCIÓN</b>                                     |                 |               |                           |                        |
|--|-----------------|---------------|---------------------------|------------------------|
| <b>Descripción</b>   | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b> | <b>Precio unitario \$</b> | <b>Precio total \$</b> |
| Fusión de 1 hilo de fibra                                      | 197             | U             | 11.93                     | 608.43                 |
| Suministro y tendido de cable canalizado 12 FO monomodo G652.D | 11000           | metros        | 2.49                      | 27,390                 |
| Sangrado de fibra óptica                                       | 12              | U             | 9.00                      | 108.00                 |
| Caja óptica distribución aérea 12 hilos                        | 197             | U             | 72.00                     | 14,184.00              |
| Splitter óptico conectorizado 1X8 SC/APC                       | 197             | U             | 12.00                     | 2,364.00               |
| Herrajes Terminal tipo A 12mm                                  | 197             | U             | 4.25                      | 838.43                 |
| Herrajes de suspensión   | 394             | U             | 7.84                      | 3,088.96               |
| Herrajes de dispersión   | 394             | U             | 9.69                      | 3,817.86               |
| <b>TOTAL</b>   |                 |               |                           | 52,399.68              |

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

**Tabla 3-27:**Inversión red de dispersión

| <b>RED DE DISPERSIÓN</b>   |                 |               |                           |                        |
|--|-----------------|---------------|---------------------------|------------------------|
| <b>Descripción</b>   | <b>Cantidad</b> | <b>Unidad</b> | <b>Precio unitario \$</b> | <b>Precio total \$</b> |
| Suministro y tendido de cable aéreo de 2 FO G657.A1 (DROP) 6mm             | 11000           | metros        | 1.24                      | 13,640.00              |
| Fusiones   | 1576            | U             | 11.93                     | 18,801.68              |
| Rosetas ópticas  | 1576            | U             | 9.00                      | 14,184.00              |
| Suministro y colocación de Patch Cord Simplex SC/APC-SC/APC de 3mts G.652D | 1576            | U             | 11,60                     | 18,281.60              |
| <b>TOTAL</b>   |                 |               |                           | <b>64,907.28</b>       |

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

**Tabla 3-28:** Inversión equipos Activos

| <b>EQUIPOS ACTIVOS</b>       |                 |                           |                        |
|------------------------------|-----------------|---------------------------|------------------------|
| <b>Descripción</b>           | <b>Cantidad</b> | <b>Precio Unitario \$</b> | <b>Precio Total \$</b> |
| OLT Huawei Smart AX MA56037T | 1               | 1,200.00                  | 1,200.00               |
| ONT Huawei EchoLife HG850A   | 1576            | 34.00                     | 53,584.00              |
| Licencia OLT                 | 1               | 1,500.00                  | 1,500.00               |
| <b>TOTAL</b>                 |                 |                           | <b>56,284.00</b>       |

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

### 3.3.1 *Inversión Total*

La inversión total se obtiene al sumar la inversión de la red troncal, distribución, dispersión y los equipos activos como se indica en la Tabla 3-6.

**Tabla 3-29:**Inversión Total

| <b>Red GPON Servicio Triple Play</b> |                   |
|--------------------------------------|-------------------|
| <b>Red Troncal</b>                   | 6,364.24          |
| <b>Red de Distribución</b>           | 52,399.68         |
| <b>Red de Dispersión</b>             | 64,907.28         |
| <b>Equipos Activos</b>               | 56,284.00         |
| <b>TOTAL</b>                         | <b>179,955.20</b> |

Realizado por: Morejón, Jayro; 2021

En el capítulo II sección 2.4.2 se determinó que el 81% de los encuestados no pagaría un valor adicional del servicio actual contratado. En la Figura 3-22 se toma como referencia el servicio triple play ofertado actualmente por CNT cuyo valor es de \$53.75.

The screenshot displays the pricing for a triple play service from CNT. It is divided into four main sections: internet, televisión, telefonía móvil, and telefonía fija. Each section shows a price and some additional details like upload/download speeds or package options. At the bottom, a summary shows the normal price of \$63.24, a 15% discount, and the final price of \$53.75, along with a 'lo quiero' button.

| Servicio        | Precio         | Detalles                                     |
|-----------------|----------------|--|
| Internet        | \$27.89*       | bajada 20 MB, subida 20 MB                   |
| Televisión      | \$26.40        | Paquete SD (\$26.40*), Paquete HD (\$36.71*) |
| Telefonía móvil | \$0.00*        | Gigas: 0                                     |
| Telefonía fija  | \$8.95*        | Hogar Total CNT                              |
| <b>Total</b>    | <b>\$53.75</b> |  |

Precio normal: \$63.24  
 Tu descuento: 15% (9.49\$)  
 Tu precio: \$53.75  
 Botón: lo quiero

**Figura 3-91:** Costo de servicio triple play CNT.

**Fuente:** (CNT, 2021)

SI fijamos un valor de \$50 de cobro al proyecto y consideramos que el 57% no dispone de un servicio triple Play obtenemos una recaudación mensual de \$44,000.00 mensuales.

Por lo que se concluye que, si se implementa el servicio Triple Play con la red GPON en la zona urbana del cantón Guano, aplicando el indicador de periodo de recuperación de capital; la inversión del proyecto sería recuperada en un período mínimo de 5 meses.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con las encuestas se determinan que existe un alto índice de insatisfacción por parte de los clientes del servicio de internet que las empresas proveedoras están brindando, especialmente por la pobre velocidad de navegación, pérdida de conexión frecuente y las garantías de seguridad de la red no son las adecuadas.

Se diseñó una red GPON FTTH dividida en seis zonas, trabaja con una topología en árbol, la fibra óptica utilizada en la red Troncal y de distribución se basa en la normativa ITU-T G652.D y la red de dispersión en la normativa ITU-T G657.A1.

El diseño de la red GPON propuesta maneja velocidades de 1.4 Gbps de subida y 2.4 Gbps de bajada. Estos valores garantizan la transmisión del servicio Triple Play (Internet, VoIP e IPTV) por el mismo medio guiado.

Se eligió el modelo masivo/casas; contiene en el primer nivel un splitter de 1:4, en el segundo nivel un splitter de 1:8. Se obtuvo una atenuación de 25.57 dB en el campo más lejano. Este valor está dentro del rango de atenuación máxima de 28 dB.

En el presupuesto óptico del enlace para el usuario más lejano de la red con respecto a la OLT se obtiene una sensibilidad de -20.57dBm, este valor es adecuado ya que está dentro del parámetro establecido de -28dBm por la normativa ITU.G984.2 Clase B+.

Las pruebas de simulación de la red FTTH se realizó con el *software* OptiSystem. Se evaluó la calidad de la señal recibida en la ONT. Obteniendo una tasa de bit errado de  $1.18 \times 10^{-16}$  para el usuario más lejano con un Factor Q de 8.20, el diagrama de ojo nos mostró que a medida que la distancia aumenta el ruido también. Estos valores cumplen con la norma ITU-T G.984.2.

Se concluye que el diseño de red GPON para desplegar el servicio Triple Play en la zona urbana del cantón Guano cumple con los parámetros establecidos de la normativa ITU-G.984.2.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar un estudio de georreferenciación de cada usuario mediante GPS, con la finalidad de optimizar el tiempo en el diseño de la red de dispersión.

Estudiar la posibilidad de realizar un análisis de tráfico de la red del servicio triple play, en caso de que se llegue a implementar.

Realizar un estudio de encriptación de los datos con el objetivo de asegurar la integridad de la información transmitida por parte del usuario.

## GLOSARIO

**Absorción:** atenuación de la fibra óptica que resulta de la conversión de la potencia óptica en calor (Syscom.2021).

**ATM:** Abreviatura de modo de transferencia asíncrona, es un estándar de red de alta velocidad diseñado para admitir comunicaciones de voz, vídeo y datos, y para mejorar la utilización y calidad del servicio (QoS) en redes de tráfico denso (Prored. 2021).

**BER:** Tasa de bit error. Relación de bits recibidos con error respecto a los bits enviados. Es normal un BER de  $10^{10}$  (Universidad Técnica Nacional. 2021).

**Dispersión:** Un fenómeno físico referente a la dependencia de la fase o la velocidad de grupo de una onda de luz en el medio, y sus características de propagación tales como la frecuencia óptica (longitud de onda) o el modo de polarización (ITU-T G.989.10/2015).

**Downstream:** Es la bajada en dirección del flujo de tráfico desde la OLT hacia la ONU (ITU-T G.989. 10/2015).

**Ethernet:** Protocolo y formato de trama para comunicación de datos. (IEEE 802.3. 2015: Definition).

**Fibra multimodo:** Fibra óptica que tiene un sector central de gran tamaño y permite que los rayos o modos no-axiales se propaguen a lo largo del núcleo (Phercab. 2021: pg 6)

**Fibra Óptica:** Hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir, empleado en la transmisión de redes de datos y telecomunicaciones (Xperts Factory. 2018: p4).

**FTTH:** Abreviatura de fibra hasta el hogar, es un tipo de despliegue de fibra óptica, donde la red GPON llega hasta el mismo hogar u oficina del abonado, siendo el tipo de arquitectura que más acerca la red de fibra al usuario final (Prored. 2021).

**IEEE:** Abreviatura del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos o IEE, es una organización internacional para el avance de la tecnología relacionada con la electricidad (Fiber Optic Center. 2021).

**Jitter:** Las variaciones en las transiciones de señal con respecto a su posición ideal en el tiempo. El jitter puede ser caracterizado por sus propiedades espectrales y su distribución en el tiempo (IEEE 802.3. 2015).

**Latencia:** Es el tiempo que le lleva a una señal propagarse a través de un medio de transmisión o dispositivo (CableLabs.2021).

**Longitud de onda:** Medición del color de la luz, generalmente se expresa en nanómetros (nm) o micrones ( $\mu\text{m}$ ) (Alicante.2016).

**Manga:** Gabinete construido de material resistente a la tensión e impermeable, que permite el cierre hermético y con los debidos accesorios para instalación en canalización, soportes aéreos y aplicaciones de pedestal, el cual sirve para dar continuidad al enlace de fibra óptica (Dependencia Municipio de Loja. 2019: p28).

**Modulación:** Del latín *modulatio*, el término modulación está relacionado con el hecho y las consecuencias de modular. Modifica el valor de una frecuencia, fase o amplitud de una onda (Definición.de. 2021).

**ONU:** Abreviatura de unidad de red óptica, es un módem de fibra que permanece en la casa (o empresa) del suscriptor de Internet para recibir la señal vía FTTH (Telecom. 2021).

**Pigtail:** Fibra de corta longitud conectada a un componente de fibra óptica, como un láser o un acoplador (Epcom. 2021).

**Red de Área Local:** Una red en la que la información es transmitida en portadoras moduladas permitiendo la coexistencia de múltiples servicios simultáneos sobre un mismo medio físico multiplexación por división de frecuencia (IEEE 802.3.2011: cláusula 11).

**Sangrado:** Acción y resultado de sangrar, el cual consiste en retirar las chaquetas del cable dejando expuestos únicamente los hilos de fibra a usar (The free dictionary.2021).

**Upstream:** Es la subida en dirección del flujo de tráfico desde la ONU hacia la OLT (ITU-T G.989. 10/2015).

## BIBLIOGRAFÍA

**AÑAZCO AGUILAR, Christian O.** Diseño Básico de Redes de Acceso FTTH utilizando el estándar GPON. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayas, Ecuador. (22 de mayo de 2013). [Consulta: 8 abril 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/516/1/T-UCSG-POS-MTEL-10.pdf>

**ARGUELLO MOSCOSO, Esteban, & BURMEO ECHEVERRÍA, Paola.** Análisis técnico y financiero para migrar la red de acceso de cobre a una red GPON de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones del Ecuador en el Cantón Azoques [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2013 [Consulta: 8 abril 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4964/1/UPS-CT002669.pdf>.

**ARGUERO TELLO, Johanna.** Análisis comparativo del desempeño de receptores ópticos coherentes y no coherentes para gfdm enredos pon. [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2018. [Consulta: 13 mayo 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8917/1/20T01071.pdf>

**BARRERA MOREANO, Rómulo B, & JURADO LOZADA, Marco A.** Red de fibra óptica con tecnología gpon para el mejoramiento de los servicios de telecomunicaciones de la Empresa Puntonet S.A En La Ciudad De Ambato [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2014 [Consulta: 12 marzo 2020]. Disponible en: [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6912/1/Tesis\\_t859ec.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6912/1/Tesis_t859ec.pdf).

**BLANCO, Francisco.** Triple play: nuevos modelos de negocio para la era digital. [En línea], 2006, (España) 24(108), pp.325-333. [Consulta: 09 abril 2020]. ISSN 0212-4386. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1958333>

**BUELVAS PEÑARREDONDA, Duilio A, et al.** Redes Ópticas Dwdm: Diseño E Implementación Dwdm Optical Networks: Design and Implementation. [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2010 Visión electrónica, vol. 1, pp. 8. [Consulta: 15 abril 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/75535780-Redes-opticas-dwdm-diseno-e-implementacion-dwdm-optical-networks-design-and-implementation.html>

**BURDAH, Salim, et al.** Performance analysis of Q factor optical communication in free space optics and single mode fiber. Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering, [En línea], 2019, (Indonesia), 6(3), pp. 167-175. [Consulta: 15 mayo 2020]. ISSN 23323299. DOI

10.13189/ujeee.2019.060311.

Disponible

en:

[http://www.hrpub.org/journals/article\\_info.php?aid=8205](http://www.hrpub.org/journals/article_info.php?aid=8205)

**CAJAMARCA RAMOS, Cristian, & INCA, Deysi.** Evaluación Del Desempeño De Técnicas De Modulación En Sistemas De Fibra Óptica [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2017. [Consulta: 16 marzo 2020]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4266/1/UNACH-EC-ING-ELE-TEL-2017-0012.pdf>.

**CAMINO COCA, Armando V.** Evaluación del modelado de una red GPON/FTTH con multiplexación por división de longitud de onda utilizando OptiSystem. [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Católica De Santiago De Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2018. [Consulta 16 marzo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/11147/1/T-UCSG-POS-MTEL-112.pdf>

**CARMONA, A, & VILLANUEVA, S.** “Estudio sociocultural estadístico sobre el sistema, FTTH “. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Vicálvaro. Random, Madrid, 2008. [Consulta: 11 marzo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/495/1/T-UCSG-POS-MTEL-8.pdf>

**CARRERA FLORES, Andrea.** Diseño de una red de planta externa FTTH con tecnología GPON para la población de Barreiro Nuevo, de la ciudad de Babahoyo, Provincia de Los Ríos. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador, 2016. [Consulta: 11 marzo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/13130>

**CARVAJAL VERA, María.** Análisis para la aplicación del programa optifiber de optiwave para las mediciones de los parámetros de diseño de los cables de fibra óptica. [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Católica De Santiago De Guayaquil, Guayas, Ecuador, 2014. [Consulta: 11 marzo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/2895>

**CEVALLOS ROJAS, Ramiro, & MONTALVO ESPINOZA, Richard.** Estudio y diseño de una red de última milla, utilizando la tecnología G-Pon, Para El Sector Del Nuevo Aeropuerto De Quito. [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2010. [Consulta: 15 mayo 2020]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1886>

**CHIRGUAYO RODRÍGUEZ, Erika.** Diseño de una red de accesos mediante fibra óptica aplicando tecnología GPON en las instalaciones del campus de la Universidad Estatal Península

de Santa Elena [En línea] (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Estatal Península De Santa Elena, La Libertad, Ecuador, 2017. [Consulta: 10 marzo 2020]. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/4105/UPSE-TET-2017-0010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**COLINBA ESCOLA, Héctor.** Estudio de factibilidad para la implementación de un laboratorio de comunicaciones ópticas en la facultad de ingeniería eléctrica y electrónica de la escuela politécnica nacional. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2018. [Consulta: 15 mayo 2020]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19298>

**Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones.** *Procedimiento para la definición y análisis del mercado de acceso al por mayor a infraestructura de red. Normativa MTZ 2008/626.* Barcelona, 2008.

**COPEXTEL, R.G., 2001.** *Tecnología xDSL.* [blog]. 2001. pp. 41-46. [Consulta: 3 marzo 2020]. Disponible en: [https://www.ecured.cu/Tecnología\\_xDSL](https://www.ecured.cu/Tecnología_xDSL).

**CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT. EP.** Servicios Ofertados. [En línea]. [Consulta: 03 julio 2020]. Disponible en: <https://www.cnt.gob.ec/>

**DEL RÍO CAMPOS, José & DEL RÍO CAMPOS. Carmina.** *Tecnología fotónica prácticas y ejercicios resueltos de simulación con optisystem.* [En línea]. San Fernando de Henares, Madrid. RC Libros.2016. [Consulta: 16 marzo 2020]. ISBN 9788494465000. Disponible en: [http://rclibros.es/wp-content/uploads/2016/03/capitulo\\_9788494465000.pdf](http://rclibros.es/wp-content/uploads/2016/03/capitulo_9788494465000.pdf).

**DINAMARCA OSSA, José A.** Análisis de Diagramas de Ojo. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universidad Técnica Federico Santa María. 2002. [Consulta: 11 mayo 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/2638743-Analisis-de-diagramas-de-ojo.html>.

**ELECTRITEL, 2018.** *Arquitectura de las redes GPON FTTH.* [blog]. [Consulta: 14 marzo 2020]. Disponible en: <http://www.electritel.ec/blog/arquitectura-de-las-redes-gpon-ftth>.

**FERNÁNDEZ, Santiago.** *Código de colores en fibras ópticas.* [blog]. [Consulta: 16 marzo 2020]. Disponible en: <http://marismas-emtt.blogspot.com/2010/06/codigo-de-colores-en-fibras-opticas.html>.

**FIBER TO THE HOME COUNCIL AMERICAS LATINOAMÉRICA.** Recomendaciones Técnicas para redes FTTH versión 01. [En Línea]. [Consulta: 29 junio 2020]. Disponible en: <https://www.fiberbroadband.org/chapter-overview>

**FIBEROPTICS.** *What is BER (Bit Error Ratio) and BERT (Bit Error Ratio Tester)? – Fosco Connect.* [blog]. [Consulta: 27 abril 2020]. Disponible en: <https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95047174-what-is-ber-bit-error-ratio-and-bert-bit-error-ratio-tester>.

**GARCÍA, David., 2015.** *Redes PON. Redes GPON - Telecable* [blog]. [Consulta: 4 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.telecable.com/blog/redes-pon/429>

**GÓMEZ BARRIENTOS, Ricardo.** “Estudio y análisis de pérdidas en redes de fibra óptica basadas en el estándar Sonet/Sdh Y Su Evolución Hacia Dwdm” [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2007. [Consulta: 18 mayo 2020]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmfcig633e/doc/bmfcig633e.pdf>.

**GOMEZ BOSSANO, María, & MOREJON GAIBOR, Adriana.** Estudio y diseño de una red de acceso gpon para los servicios de telecomunicaciones triple play (Voz, Video Y Datos) En El Sector Oriental De La Ciudad De Riobamba [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2012. [Consulta: 7 marzo 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2911/1/98T00026.pdf>

**GONZÁLES CEDEÑO, Nidia, & BECERRA ESTUPIÑÁN, Sergio.** Diseño de una odn para una red óptica de acceso mediante tecnología gpon para servicios triple play en el sector “la tolita 1 y la tolita 2” de la ciudad de esmeraldas. [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2012. [Consulta: 7 marzo 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5444>

**HUAWEI TECHNOLOGIES CO., L. (2020).** SmartAX MA5600T/Ma5603T/MA5608T Multi-service Access Module V800RO16COO Product Description. Shenzhen. [En línea]. China.2020. [Consulta: 24 junio 2020.] Disponible en: <https://www.router-switch.com/huawei-ma5600t-olt.html>

**HUAWEI, 2018.** [GPON Technical Posts 06] How Does GPON Implement Upstream and Downstream Transmission? [en línea]. [Consulta: 16 mayo 2020]. Disponible en: <https://support.huawei.com/huaweiconnect/carrier/en/thread-445969.html>.

**ICOPTIKS, [sin fecha].** *Jumpers y Pigtail*. [en línea]. [Consulta: 11 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.icoptiks.mx/ensambles/jumpers-y-pigtail/>.

**ILBAY YUPA, Hipatia.** Diseño de una red de accesos GPON en la ESPOCH para proveer servicios triple-play (voz, video y datos). [En línea] (Trabajo de Titulación). (Pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba – Ecuador. 2015. [Consulta: 15 abril 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6429/1/98T00125.pdf>

**Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).** *Fascículo Cantón Guano*. [En línea]. Ecuador 2010. [Consulta: 15 abril 2020]. Disponible en: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Fasciculos\\_Censales/Fasc\\_Cantonaes/Chimborazo/Fasciculo\\_Guano.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Fasciculos_Censales/Fasc_Cantonaes/Chimborazo/Fasciculo_Guano.pdf)

**ITU-T G.984.1,** *Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales*. [En línea] 2008. [Consulta: 01 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/es>

**ITU-T G.984.2,** *Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos*. [En línea] 2019. [Consulta: 01 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2/es>

**ITU-T G.984.3,** *Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa de convergencia de transmisión*. [En línea]. 2014. [Consulta: 01 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3/es>.

**ITU-T G.984.4,** *Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica*. [En línea] 2008. [Consulta: 01 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4/es>

**ITU-T G.984.5,** *Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Banda de ampliación*. [En línea] 2014. [Consulta: 01 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.5/es>

**IZA PONCE, Fernando, & BRITO MONCAYO, Geovanni.** "Migración de la red de cobre a fibra óptica para la inclusión de nuevos servicios en la central de izamba para la corporación nacional de telecomunicaciones cnt s.a." [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2011. [Consulta: 8 abril 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/77/1/t605e.pdf>.

**LÓPEZ, Marcela, et al.** Diseño de implementación de Red GPON en la Ciudad de Bogotá Barrio Carvajal. [en línea], no. June. DOI 10.13140/RG.2.2.14786.48323. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/325575946\\_RED\\_GPON](https://www.researchgate.net/publication/325575946_RED_GPON).

**MATANGO, F.** *Características y Funcionalidad de VoIP / VoIP*. [blog]. [Consulta: 16 marzo 2020]. Disponible en: <http://www.servervoip.com/blog/caracteristicas-y-funcionalidad-de-voip/>.

**MEDIUM.COM.** *Análisis De Pon: Qué es OLT, ONU, ONT y ODN*. [blog]. [Consulta: 11 marzo 2020]. Disponible en: <https://medium.com/@xxxamin1314/análisis-de-pon-qué-es-olt-onu-ont-y-odn-8e78eb25e4bb>.

**NAVARRO SOTOMAYOR, Miriam & BALLESTAS MAJANA, Antonio.** Elaboración de banco de pruebas para la transmisión digital de señales. [En línea] (Trabajo de grado) (Pregrado). Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, 2002. [Consulta: 5 marzo 2020]. Disponible en: <https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/1866/0009946.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**NIKOLAI, E.** *Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x*. [en línea], 2020 11(3), pp. 16-30. [Consulta: 5 marzo 2020]. ISSN 1390-9363. Disponible en: <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>.

**ORANGE.ES.** *¿Qué es una ONT y qué modelos se utilizan en la Fibra de Orange? - Ayuda Orange*. [blog]. [Consulta: 17 abril 2020]. Disponible en: <https://ayuda.orange.es/particulares/adsl-y-fibra/configuracion-e-instalacion/2280-que-es-una-ont-y-que-modelos-se-utilizan-en-la-fibra-de-orange>.

**PAVÓN, L.** *¿Qué significa FTTx, FTTH, FTTO, FTTR, FTTD ...?* [blog]. [Consulta: 10 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/qué-significa-fttx-ftth-ftto-fttr-fttd-leandro-pavón-serrano>.

**PÉREZ CUENCA, Antonio.** Implantación de la red FTTH como alternativa a la red de cobre. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Catalunya. 2012. [Consulta: 5 marzo 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2099.1/15083>

**PÉREZ PEREIRA, Marcela, et al.** Análisis Y Diseño De Una Red Con Tecnología Gpon ftth Para La Provisión De Servicios De Telefonía Fija E Internet En El Sector La Unión Del Cantón Durán, Provincia Del Guayas. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayas, Ecuador, 2017. [Consulta: 5 marzo 2020]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/39661>

**PRAXTEL-TELECOMMUNICATIONS.** *Conozca más acerca de los cordones de fibra óptica (patchcords).* [en línea]. 2008. [Consulta: 11 marzo 2020]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf/cordones-fibra-optica-patchcords/cordones-fibra-optica-patchcords.pdf>

**RAVENCORP.** *Cómo funciona una conexión de fibra GPON y FTTH – RavenCorp.* [en línea]. [Consulta: 9 abril 2020]. Disponible en: <http://www.ravencorp.com.ec/2019/02/01/como-funciona-una-conexion-de-fibra-gpon-y-ftth/>.

**REDESZONE.NET.** *Redes ópticas pasivas: qué son y por qué reemplazarán al cableado de cobre. Redes ópticas pasiva: el estándar de cableado que reemplaza al cobre* [en línea]. [Consulta: 4 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/redes-opticas-pasivas-que-es/>.

**RUIZ LOVATO, David.** Estudio Comparativo Y Simulación De Las Tecnologías Pon Tradicionales Y Emergentes [en línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana sede de Quito, Quito, Ecuador, 2015 [Consulta: 4 marzo 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10187/1/UPS-ST001841.pdf>.

**SABANDO, Katherine.** Caracterización de los Servicios Triple-Play mediante comunicaciones sobre líneas eléctricas”. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universidad Católica de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2014. [Consulta: 16 marzo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1913/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-58.pdf>.

**SCHNITZLER, S.** *Códigos de colores para identificación numérica.* [en línea]. [Consulta: 16 marzo 2020]. Disponible en: <http://www.yio.com.ar/fo/codigos.html>.

**SENATI.** *Redes de computadoras.* [en línea]. [Consulta: 15 marzo 2020]. Disponible en: <https://cld.bz/bookdata/BR9e5P/basic-html/page-1.html>.

**SEWAN.** *¿Cómo funciona la telefonía IP?* [blog]. 2020. [Consulta: 16 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.vozelia.com/es/como-funciona-la-telefonía-ip/>.

**SILEXFIBERTELECOM.** *Tipos de conectores Fibra Óptica ST, SC, LC, E2000, FC, MTRJ, MU, SC/APC, LC/APC.* [en línea]. [Consulta: 11 marzo 2020]. Disponible en: <https://silexfiber.com/tipos-conectores-fibra-optica/>.

**TECHNOPEDIASITE.COM.** *Complete introduction of GPON (Gigabit Passive Optical Network) – technopedia site-Ultimate Resource For Telecom Technical Support.* [en línea].

[Consulta: 7 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.technopediasite.com/2019/01/complete-introduction-of-gpon-gigabit.html?m=1>.

**TELECOCABLE.** *Características de la fibra óptica multimodo y monomodo.* [blog]. [Consulta: 16 marzo 2020]. Disponible en: <https://www.telecable.com/blog/caracteristicas-fibra-optica/1533>.

**TENECORA MEJÍA, Iván.** Evaluación del proceso de migración de tecnología ADSL a fibra óptica bajo el estándar G.984.G GPON. Caso de estudio Macas, Morona Santiago”. [En línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador, 2019. [Consulta: 13 mayo 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/9443/1/20T01137.pdf>

**THAKUR, A.** *218d. C. ATM Networks.* [en línea]. [Consulta: 13 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.tutorialspoint.com/ATM-Networks>.

**VALLEJO ESPINOSA, Regis.** “Diseño de una red de última milla con tecnología GPON para la parroquia Cumbayá en el Distrito Metropolitano de Quito”. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador, 2013. [Consulta: 21 abril 2020]. Disponible en: <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/527>

**WANG, Wenjia, et al.** *DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) Overview.* [en línea]. [Consulta: 21 abril 2020]. Disponible en: [http://www.ieee802.org/3/efm/public/sep01/wang\\_1\\_0901.pdf](http://www.ieee802.org/3/efm/public/sep01/wang_1_0901.pdf)

**ZAMBRANO VERA, María.** Diseño y evaluación de una redfttx y hfc en una zona urbana utilizando optisystem para medir parámetro de eficiencia en la transmisión. [en línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2020. [Consulta: 16 marzo 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/8438/1/98T00185.pdf>

**ZARI MUÑOZ, Paúl, et al.** "Propuesta De Una Nueva Estructura De La Red De Acceso Gpon De La Empresa Etapa EP Para La Provisión De Nuevos Servicios De Telecomunicaciones Para Usuarios De Tipo Residencial Y Comercial. [En línea] (Trabajo de Titulación) (Maestría). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2014. [Consulta: 16 marzo 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6451/1/UPS-CT003084.pdf>



Firmado electrónicamente por:  
**JHONATAN RODRIGO  
PAREÑO UQUILLAS**

## ANEXOS

### ANEXO A: FORMATO DE ENCUESTAS



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO  
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y  
ELECTRÓNICA**



### **ENCUESTA DIRIGIDA A LOS USUARIOS DEL CANTON GUANO SECTOR CENTRO.**

**Objetivo:** Evaluar la calidad del servicio proporcionado por la red actual de cobre (ADSL), para determinar el nivel de satisfacción de los usuarios del Cantón Guano en el sector Centro.

Preguntas sobre el Uso, Preferencias y Condiciones del Internet.

1. ¿Cuenta usted con un contratado de servicios de Telefonía, Internet y Televisión, por un mismo medio de transmisión con un costo mensual?
  - Si
  - No
  
2. ¿Usted está satisfecho con el servicio de internet con el que cuenta en su hogar?
  - Si
  - No
  
3. ¿Cuál de las siguientes opciones piensa usted que es el mayor problema en su servicio contratado?
  - Velocidad
  - Disponibilidad
  - Seguridad
  
4. ¿Le gustaría contratar el servicio Triple Play (Internet, Telefonía, TV) a través de una nueva tecnología de fibra óptica? (se refiere a realizar un solo contrato y pago por los tres servicios, por un mismo medio de transmisión)
  - Si
  - No
  
5. ¿Usted estaría de acuerdo en pagar un porcentaje mayor de lo que cancela por obtener el servicio Triple Play?
  - Si
  - No

6. Está de acuerdo usted con que se actualice la red de internet en el cantón Guano.

- Si
- No

7. **¿Recomendaría usted el servicio Triple Play (Internet, Telefonía, TV) a otras personas?**

- Si
- No

ANEXO B: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA FIBRA ÓPTICA G.652

Table 1/G.652 – G.652.A Attributes

| Fibre attributes   |                          |                               |
|--|--------------------------|-------------------------------|
| Attribute  | Detail                   | Value                         |
| Mode field diameter  | Wavelength               | 1310 nm                       |
|  | Range of nominal values  | 8.6-9.5 $\mu\text{m}$         |
|  | Tolerance                | $\pm 0.6 \mu\text{m}$         |
| Cladding diameter  | Nominal                  | 125.0 $\mu\text{m}$           |
|  | Tolerance                | $\pm 1 \mu\text{m}$           |
| Core concentricity error   | Maximum                  | 0.6 $\mu\text{m}$             |
| Cladding noncircularity  | Maximum                  | 1.0%                          |
| Cable cut-off wavelength   | Maximum                  | 1260                          |
| Macrobend loss   | Radius                   | 30 mm                         |
|  | Number of turns          | 100                           |
|  | Maximum at 1550 nm       | 0.1 dB                        |
| Proof stress   | Minimum                  | 0.69 GPa                      |
| Chromatic dispersion coefficient   | $\lambda_{0\text{min}}$  | 1300 nm                       |
|  | $\lambda_{0\text{max}}$  | 1324 nm                       |
|  | $S_{0\text{max}}$        | 0.092 ps/nm <sup>2</sup> × km |
| Cable attributes   |                          |                               |
| Attribute  | Detail                   | Value                         |
| Attenuation coefficient  | Maximum at 1310 nm       | 0.5 dB/km                     |
|  | Maximum at 1550 nm       | 0.4 dB/km                     |
| PMD coefficient  | M                        | 20 cables                     |
|  | Q                        | 0.01%                         |
|  | Maximum PMD <sub>Q</sub> | 0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$    |
| NOTE – According to 6.2, a maximum PMD <sub>Q</sub> value on uncabled fibre is specified in order to support the primary requirement on cable PMD <sub>Q</sub> . |                          |                               |

**Table 4/G.652 – G.652.D attributes**

| <b>Fibre attributes</b>          |  |                               |
|----------------------------------|--|-------------------------------|
| <b>Attribute</b>                 | <b>Detail</b>                            | <b>Value</b>                  |
| Mode field diameter              | Wavelength                               | 1310 nm                       |
|                                  | Range of nominal values                  | 8.6-9.5 $\mu\text{m}$         |
|                                  | Tolerance                                | $\pm 0.6 \mu\text{m}$         |
| Cladding diameter                | Nominal                                  | 125.0 $\mu\text{m}$           |
|                                  | Tolerance                                | $\pm 1 \mu\text{m}$           |
| Core concentricity error         | Maximum                                  | 0.6 $\mu\text{m}$             |
| Cladding noncircularity          | Maximum                                  | 1.0%                          |
| Cable cut-off wavelength         | Maximum                                  | 1260 nm                       |
| Macrobend loss                   | Radius                                   | 30 mm                         |
|                                  | Number of turns                          | 100                           |
|                                  | Maximum at 1625 nm                       | 0.1 dB                        |
| Proof stress                     | Minimum                                  | 0.69 GPa                      |
| Chromatic dispersion coefficient | $\lambda_{0\text{min}}$                  | 1300 nm                       |
|                                  | $\lambda_{0\text{max}}$                  | 1324 nm                       |
|                                  | $S_{0\text{max}}$                        | 0.092 ps/nm <sup>2</sup> × km |
| <b>Cable attributes</b>          |  |                               |
| <b>Attribute</b>                 | <b>Detail</b>                            | <b>Value</b>                  |
| Attenuation coefficient          | Maximum from 1310 nm to 1625 nm (Note 2) | 0.4 dB/km                     |
|                                  | Maximum at 1383 nm $\pm 3$ nm            | (Note 3)                      |
|                                  | Maximum at 1550 nm                       | 0.3 dB/km                     |
| PMD coefficient                  | M  | 20 cables                     |
|                                  | Q  | 0.01%                         |
|                                  | Maximum PMD <sub>Q</sub>                 | 0.20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$   |

## ANEXO C: SIMULACIÓN DE RED GPON

