



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

**“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA RED FTTH UTILIZANDO EL
ESTÁNDAR ITU-T G.984.X MEDIANTE EL SOFTWARE
TOMODAT2 PARA PROVEER SERVICIO DE INTERNET EN EL
SECTOR DE GATAZO PARA MAXXNET INTERNET EMPRESA
PRIVADA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO ELECTRÓNICO EN TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTOR: MILTON ISMAEL TENESACA ALLAUCA

DIRECTOR: Ing. MSc. OSWALDO GEOVANNY MARTÍNEZ GUASHIMA

Riobamba-Ecuador

2021

©2021, Milton Ismael Tenesaca Allauca

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, Milton Ismael Tenesaca Allauca, 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, 10 de septiembre de 2021.



Milton Ismael Tenesaca Allauca

092861430-4

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

El tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA RED FTTH UTILIZANDO EL ESTÁNDAR ITU-T G.984.X MEDIANTE EL SOFTWARE TOMODAT2 PARA PROVEER SERVICIO DE INTERNET EN EL SECTOR DE GATAZO PARA MAXXNET INTERNET EMPRESA PRIVADA**, realizado por el señor: **MILTON ISMAEL TENESACA ALLAUCA**, 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.

| | FIRMA | FECHA |
|---|--|-------------------|
| Ing. PhD. Pedro Severo Infante Moreira PRESIDENTE DE TRIBUNAL |  Firmado electrónicamente por: PEDRO SEVERO INFANTE MOREIRA | <u>13-09-2021</u> |
| Ing. MSc. Oswaldo Geovanny Martínez Guashima DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN | Firmado digitalmente por: OSWALDO GEOVANNY MARTINEZ GUASHIMA Nombre de reconocimiento DN: cn=OSWALDO GEOVANNY MARTINEZ GUASHIMA, serialNumber=080721063624, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC OSWALDO GEOVANNY MARTINEZ GUASHIMA | <u>13-09-2021</u> |
| Ing. MSc. Wilson Oswaldo Baldeón López MIEMBRO DEL TRIBUNAL | WILSON OSWALDO BALDEON LOPEZ Firmado digitalmente por: WILSON OSWALDO BALDEON LOPEZ Fecha: 2021.09.13 06:53:45 -05'00' | <u>13-09-2021</u> |

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se la dedico a mi madre María ya que gracias a su gran esfuerzo y apoyo incondicional en todo momento he podido culminar mi carrera profesional. Y a mis hermanos Job y Belén para motivarlos a lograr cumplir sus metas académicas.

Milton

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar el más sincero agradecimiento a mi madre María que ha sido un pilar fundamental en mi vida y me ha brindado apoyo incondicional y todas las facilidades para poder estudiar y culminar mi carrera profesional. Y a mis maestros y compañeros que formaron parte de mi vida estudiantil, y que aportaron con su enseñanza y conocimientos para lograr cumplir esta etapa de mi vida.

Milton

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|-----------------------------|-------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xiii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xvi |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xix |
| ÍNDICE DE ANEXOS | xx |
| ÍNDICE DE ABREVIATURAS..... | xxi |
| RESUMEN..... | xxii |
| SUMMARY..... | xxiii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|---|----|
| 1. MARCO TEÓRICO | 7 |
| 1.1. Sistema de comunicaciones ópticas..... | 7 |
| 1.1.1. <i>Tipos de red de fibra óptica</i> | 7 |
| 1.1.1.1. <i>Red óptica activa (AON)</i> | 7 |
| 1.1.1.2. <i>Red óptica pasiva (PON)</i> | 8 |
| 1.2. Fibra Óptica | 9 |
| 1.2.1. <i>Características de la Fibra Óptica</i> | 9 |
| 1.2.1.1. <i>Ventajas de los sistemas de fibra óptica frente a cables metálicos</i> | 9 |
| 1.2.1.2. <i>Desventajas de los sistemas de fibra óptica frente a cables metálicos</i> | 9 |
| 1.2.2. <i>Estructura de la fibra óptica</i> | 10 |
| 1.2.3. <i>Tipos de fibra óptica</i> | 10 |
| 1.2.3.1. <i>Fibra multimodo (MM)</i> | 11 |
| 1.2.3.2. <i>Fibra monomodo (SM)</i> | 11 |
| 1.2.4. <i>Atenuación en la fibra óptica</i> | 12 |
| 1.3. Redes FTTX | 14 |
| 1.3.1. <i>FTTN (Fiber to the Node)</i> | 15 |
| 1.3.2. <i>FTTC (Fiber to the Curb)</i> | 15 |
| 1.3.3. <i>FTTB (Fiber to the Building)</i> | 15 |

| | | |
|----------|---|----|
| 1.3.4. | <i>FTTH (Fiber to the Home)</i> | 15 |
| 1.3.5. | <i>Comparativa de Redes FTTx</i> | 15 |
| 1.4. | Estándares PON | 16 |
| 1.4.1. | <i>Recomendaciones ITU-T G.983.X</i> | 17 |
| 1.4.1.1. | <i>APON (ATM PON)</i> | 17 |
| 1.4.1.2. | <i>BPON (Broadband PON)</i> | 17 |
| 1.4.2. | <i>Estándar IEEE 802.3</i> | 17 |
| 1.4.2.1. | <i>EPON (Ethernet PON)</i> | 17 |
| 1.4.3. | <i>Recomendaciones ITU-T G.984.X</i> | 18 |
| 1.4.3.1. | <i>GPON (Gigabit-Capable PON)</i> | 18 |
| 1.4.4. | <i>Recomendaciones ITU-T G.987.X</i> | 18 |
| 1.4.4.1. | <i>XGPON (10 Gigabit-Capable PON)</i> | 18 |
| 1.4.5. | <i>Comparación de estándares PON</i> | 19 |
| 1.5. | Red GPON (Gigabit-Capable PON) | 19 |
| 1.5.1. | <i>Arquitectura de red</i> | 20 |
| 1.5.2. | <i>Recomendaciones ITU-T G.984.X</i> | 21 |
| 1.5.2.1. | <i>ITU-T G.984.1 GPON: Características Generales</i> | 21 |
| 1.5.2.2. | <i>ITU-T G.984.2 GPON: Especificación de Capa Dependiente de Medios Físicos</i> | 21 |
| 1.5.2.3. | <i>ITU-T G.984.3 GPON: Especificación de Capa de Convergencia de Transmisión</i> | 21 |
| 1.5.2.4. | <i>ITU-T G.984.4 GPON: Especificación de Interfaz de Control y Gestión de ONT</i> | 22 |
| 1.5.2.5. | <i>ITU-T G.984.5 GPON: Mejoramiento de Banda</i> | 22 |
| 1.5.3. | <i>Parámetros técnicos de una red GPON</i> | 22 |
| 1.6. | Infraestructura de una red FTTH GPON | 24 |
| 1.6.1. | <i>OLT (Optical Line Terminal)</i> | 25 |
| 1.6.2. | <i>ODN (Optical Distribution Network)</i> | 26 |
| 1.6.3. | <i>Elementos ópticos pasivos de la ODN</i> | 27 |
| 1.6.3.1. | <i>Cables de Fibra Óptica</i> | 27 |
| 1.6.3.2. | <i>Splitters (divisores)</i> | 30 |
| 1.6.3.3. | <i>Conectores ópticos</i> | 31 |

| | | |
|----------|---|----|
| 1.6.3.4. | <i>Empalmes / Fusiones</i> | 33 |
| 1.6.4. | Elementos de la ODN | 33 |
| 1.6.4.1. | <i>ODF (Optical Distribution Frame)</i> | 33 |
| 1.6.4.2. | <i>Manga de empalme</i> | 34 |
| 1.6.4.3. | <i>FDH (Fiber Distribution Hub)</i> | 35 |
| 1.6.4.4. | <i>NAP (Network Access Point)</i> | 36 |
| 1.6.4.5. | <i>Roseta óptica</i> | 36 |
| 1.6.4.6. | <i>Herrajes</i> | 37 |
| 1.6.5. | ONT (Optical Network Terminal) | 38 |

CAPÍTULO II

| | | |
|----------|--|----|
| 2. | MARCO METODOLÓGICO | 39 |
| 2.1. | Descripción del sector Gatazo perteneciente al Cantón | 39 |
| 2.2. | Estudio de Demanda | 40 |
| 2.2.1. | <i>Tamaño de la muestra poblacional</i> | 40 |
| 2.2.2. | <i>Análisis de los resultados obtenidos</i> | 40 |
| 2.3. | Estudio de Factibilidad | 49 |
| 2.4. | Requerimientos técnicos de diseño | 51 |
| 2.4.1. | <i>Arquitectura de la Red</i> | 51 |
| 2.4.2. | <i>Topología de la Red</i> | 51 |
| 2.4.3. | <i>Tecnología de Red</i> | 52 |
| 2.4.4. | <i>Requerimientos de la Red FTTH-GPON</i> | 52 |
| 2.4.5. | <i>Software de diseño TOMODAT2</i> | 53 |
| 2.5. | Diseño de la Red GPON-FTTH | 55 |
| 2.5.1. | <i>Ubicación del OLT</i> | 56 |
| 2.5.2. | <i>Red feeder o troncal</i> | 56 |
| 2.5.2.1. | <i>Derivación de cable feeder para la zona Gatazo Hospital</i> | 59 |
| 2.5.2.2. | <i>Derivación de cable feeder para la zona Gatazo Elena</i> | 60 |
| 2.5.2.3. | <i>Derivación de cable feeder para la zona Gatazo Zambrano</i> | 62 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.5.2.4. | <i>Derivación de cable feeder para la zona Gatazo Grande y Gatazo Chico</i> | 63 |
| 2.5.3. | Red de distribución | 65 |
| 2.5.3.1. | <i>Zona Gatazo Hospital</i> | 67 |
| 2.5.3.2. | <i>Zona Gatazo Elena Zambrano</i> | 71 |
| 2.5.3.3. | <i>Zona Gatazo Zambrano</i> | 75 |
| 2.5.3.4. | <i>Zona Gatazo Grande</i> | 80 |
| 2.5.3.5. | <i>Zona Gatazo Chico</i> | 86 |
| 2.5.4. | Red de dispersión | 91 |
| 2.6. | Presupuesto óptico | 91 |
| 2.6.1. | Presupuesto óptico de la zona Gatazo Hospital | 93 |
| 2.6.1.1. | <i>Cálculo de usuario más cercano de la zona Gatazo Hospital</i> | 93 |
| 2.6.1.2. | <i>Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Hospital</i> | 93 |
| 2.6.2. | Presupuesto óptico de la zona Gatazo Elena Zambrano | 93 |
| 2.6.2.1. | <i>Cálculo de usuario más cercano de la zona Gatazo Elena Zambrano</i> | 94 |
| 2.6.2.2. | <i>Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Elena Zambrano</i> | 94 |
| 2.6.3. | Presupuesto óptico de la zona Gatazo Zambrano | 94 |
| 2.6.3.1. | <i>Cálculo de usuario más cercano de la zona Gatazo Zambrano</i> | 94 |
| 2.6.3.2. | <i>Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Zambrano</i> | 95 |
| 2.6.4. | Presupuesto óptico de la zona Gatazo Grande | 95 |
| 2.6.4.1. | <i>Cálculo de usuario más cercano de la zona Gatazo Grande</i> | 95 |
| 2.6.4.2. | <i>Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Grande</i> | 95 |
| 2.6.5. | Presupuesto óptico de la zona Gatazo Chico | 96 |
| 2.6.5.1. | <i>Cálculo de usuario más cercano de la zona Gatazo Chico</i> | 96 |
| 2.6.5.2. | <i>Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Chico</i> | 96 |
| 2.7. | Balance de potencia | 97 |
| 2.7.1. | Balance de Potencia Zona Gatazo Hospital | 97 |
| 2.7.1.1. | <i>Cálculo usuario más cercano de la zona Gatazo Hospital</i> | 97 |
| 2.7.1.2. | <i>Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Hospital</i> | 98 |
| 2.7.2. | Balance de Potencia Zona Gatazo Elena Zambrano | 98 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.7.2.1. | <i>Cálculo usuario más cercano de la zona Gatazo Elena Zambrano</i> | 98 |
| 2.7.2.2. | <i>Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Elena Zambrano</i> | 98 |
| 2.7.3. | <i>Balance de Potencia Zona Gatazo Zambrano</i> | 98 |
| 2.7.3.1. | <i>Cálculo usuario más cercano de la zona Gatazo Zambrano</i> | 98 |
| 2.7.3.2. | <i>Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Zambrano</i> | 98 |
| 2.7.4. | <i>Balance de Potencia Zona Gatazo Grande</i> | 99 |
| 2.7.4.1. | <i>Cálculo usuario más cercano de la zona Gatazo Grande</i> | 99 |
| 2.7.4.2. | <i>Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Grande</i> | 99 |
| 2.7.5. | <i>Balance de Potencia Zona Gatazo Chico</i> | 99 |
| 2.7.5.1. | <i>Cálculo usuario más cercano de la zona Gatazo Chico</i> | 99 |
| 2.7.5.2. | <i>Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Chico</i> | 99 |

CAPÍTULO III

| | | |
|----------|--|-----|
| 3. | MARCO DE RESULTADOS | 100 |
| 3.1. | Análisis de factibilidad de la red | 100 |
| 3.2. | Evaluación de resultados de la red | 102 |
| 3.2.1. | <i>Potencias de emisión OLT</i> | 103 |
| 3.2.2. | <i>Resultados de la zona Gatazo Hospital</i> | 103 |
| 3.2.2.1. | <i>Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de la zona Gatazo Hospital</i> | 103 |
| 3.2.2.2. | <i>Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de la zona Gatazo Hospital</i> .. | 105 |
| 3.2.3. | <i>Resultados de la zona Gatazo Elena Zambrano</i> | 107 |
| 3.2.3.1. | <i>Potencia recibida por ONT del usuario más cercano de Gatazo. Elena Zambrano</i> .. | 107 |
| 3.2.3.2. | <i>Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de Gatazo Elena Zambrano</i> .. | 109 |
| 3.2.4. | <i>Resultados de la zona Gatazo Zambrano</i> | 111 |
| 3.2.4.1. | <i>Potencia recibida por ONT del usuario más cercano de la zona Gatazo Zambrano</i> | 111 |
| 3.2.4.2. | <i>Potencia recibida por ONT del usuario más lejano de la zona Gatazo Zambrano</i> ... | 113 |
| 3.2.5. | <i>Resultados de la zona Gatazo Grande</i> | 115 |
| 3.2.5.1. | <i>Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de la zona Gatazo Grande</i> | 115 |
| 3.2.5.2. | <i>Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de la zona Gatazo Grande</i> | 117 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 3.2.6. | Resultados de la zona Gatazo Chico | 119 |
| 3.2.6.1. | <i>Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de la zona Gatazo Chico</i> ... | 119 |
| 3.2.6.2. | <i>Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de la zona Gatazo Chico</i> | 121 |
| 3.2.7. | Resumen de comparación de resultados | 123 |
| 3.3. | Selección de equipos ópticos activos de la red | 124 |
| 3.3.1. | Equipo OLT | 124 |
| 3.3.2. | Equipo ONT | 125 |
| 3.4. | Elementos ópticos de la Red | 127 |
| 3.4.1. | Zona Gatazo Hospital | 127 |
| 3.4.2. | Zona Gatazo Elena Zambrano | 127 |
| 3.4.3. | Zona Gatazo Zambrano | 128 |
| 3.4.4. | Zona Gatazo Grande | 129 |
| 3.4.5. | Zona Gatazo Chico | 129 |
| 3.5. | Presupuesto elementos ópticos de la red | 130 |
| 3.5.1. | Presupuesto de la Red Feeder para todo el Sector Gatazo | 130 |
| 3.5.2. | Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Hospital | 130 |
| 3.5.3. | Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona G. Elena Zambrano | 131 |
| 3.5.4. | Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Zambrano | 132 |
| 3.5.5. | Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Grande | 132 |
| 3.5.6. | Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Chico ... | 133 |
| 3.5.7. | Presupuesto total de la red FTTH-GPON en el sector Gatazo | 134 |
| | CONCLUSIONES | 135 |
| | RECOMENDACIONES | 137 |
| | BIBLIOGRAFÍA | |
| | ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------------|---|----|
| Tabla 1-1: | Pérdidas intrínsecas y extrínsecas de fibra óptica..... | 12 |
| Tabla 2-1: | Atenuación en las ventanas de fibra óptica | 14 |
| Tabla 3-1: | Comparativa de Redes FTTX..... | 16 |
| Tabla 4-1: | Comparativa de tecnologías PON | 19 |
| Tabla 5-1: | Parámetros técnicos de una red GPON | 23 |
| Tabla 6-1: | GPON: Características Generales | 23 |
| Tabla 7-1: | GPON: Especificación de capa PMD | 24 |
| Tabla 8-1: | Características de fibra óptica | 28 |
| Tabla 9-1: | Cables fibra óptica | 28 |
| Tabla 10-1: | Combinación para 2 niveles de splitter | 31 |
| Tabla 11-1: | Atenuación de splitter óptico | 31 |
| Tabla 12-1: | Atenuación por inserción conectores | 33 |
| Tabla 13-1: | Atenuación por empalme/fusión | 33 |
| Tabla 1-2: | Tipo de Conexión a Internet..... | 41 |
| Tabla 2-2: | Ancho de Banda de Internet..... | 42 |
| Tabla 3-2: | Frecuencia de problema de Internet | 43 |
| Tabla 4-2: | Tipo de problema de Internet | 44 |
| Tabla 5-2: | Grado de satisfacción de Internet | 45 |
| Tabla 6-2: | Beneficios de fibra óptica | 46 |
| Tabla 7-2: | Planes de Internet con mayor disponibilidad y Ancho de Banda..... | 47 |
| Tabla 8-2: | Contratación de Internet mediante fibra óptica | 48 |
| Tabla 9-2: | Parámetros de diseño de la red GPON clase B+ | 53 |
| Tabla 10-2: | Ubicación de las mangas troncales de la red | 58 |
| Tabla 11-2: | Ubicación de las reservas de cable de fibra troncal | 58 |
| Tabla 12-2: | Conexiones de la Manga Troncal MT01 | 60 |
| Tabla 13-2: | Conexiones de la Manga Troncal MT02 | 61 |
| Tabla 14-2: | Conexiones de la Manga Troncal MT03 | 62 |

| | | |
|--------------------|---|-----|
| Tabla 15-2: | Conexiones de la Manga Troncal MT04 | 64 |
| Tabla 16-2: | Ubicación de los FDHs | 65 |
| Tabla 17-2: | Conexiones del armario FDH-MT01-A16 | 68 |
| Tabla 18-2: | Conexiones del armario FDH-MT01-B16 | 69 |
| Tabla 19-2: | Conexiones del armario FDH-MT02-A16 | 72 |
| Tabla 20-2: | Conexiones del armario FDH-MT02-B16 | 74 |
| Tabla 21-2: | Conexiones del armario FDH-MT03-A16 | 76 |
| Tabla 22-2: | Conexiones del armario FDH-MT03-B08 | 78 |
| Tabla 23-2: | Conexiones del armario FDH-MT03-C08 | 79 |
| Tabla 24-2: | Conexiones del armario FDH-MT04-A08 | 81 |
| Tabla 25-2: | Conexiones del armario FDH-MT04-B08 | 82 |
| Tabla 26-2: | Conexiones del armario FDH-MT04-C08 | 84 |
| Tabla 27-2: | Conexiones del armario FDH-MT04-D08 | 85 |
| Tabla 28-2: | Conexiones del armario FDH-MT04-E08..... | 87 |
| Tabla 29-2: | Conexiones del armario FDH-MT04-F08 | 88 |
| Tabla 30-2: | Conexiones del armario FDH-MT04-G08 | 90 |
| Tabla 31-2: | Cantidad de Cajas NAPs y Usuarios | 91 |
| Tabla 1-3: | Postes de la ruta de fibra Troncal | 100 |
| Tabla 2-3: | Comparación de resultados de simulación con los teóricos calculados. | 124 |
| Tabla 3-3: | Características técnicas de OLT GPON ZTE C320 | 125 |
| Tabla 4-3: | Características técnicas de ONT Huawei HG8546M | 126 |
| Tabla 5-3: | Total de elementos ópticos de la zona Gatazo Hospital | 127 |
| Tabla 6-3: | Total de elementos ópticos de la zona Gatazo Elena Zambrano..... | 128 |
| Tabla 7-3: | Total de elementos ópticos de la zona Gatazo Zambrano | 128 |
| Tabla 8-3: | Total de elementos ópticos de la zona Gatazo Grande | 129 |
| Tabla 9-3: | Total de elementos ópticos de la zona Gatazo Chico | 129 |
| Tabla 10-3: | Presupuesto de inversión de la red Feeder para el sector Gatazo | 130 |
| Tabla 11-3: | Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Hospital | 130 |

| | | |
|--------------------|---|-----|
| Tabla 12-3: | Presupuesto de Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Elena Zambrano..... | 131 |
| Tabla 13-3: | Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Zambrano | 132 |
| Tabla 14-3: | Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Grande | 133 |
| Tabla 15-3: | Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Chico | 133 |
| Tabla 16-3: | Presupuesto total de la red FTTH-GPON..... | 134 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|---------------------|--|----|
| Figura 1: | Área de diseño de la red GPON-FTTH..... | 5 |
| Figura 1-1: | Diagrama de Red Óptica Activa..... | 7 |
| Figura 2-1: | Diagrama de Red Óptica Pasiva..... | 8 |
| Figura 3-1: | Estructura de Fibra Óptica..... | 10 |
| Figura 4-1: | Fibra multimodo..... | 11 |
| Figura 5-1: | Fibra multimodo..... | 11 |
| Figura 6-1: | Atenuación típica de la fibra. Longitud de onda vs Atenuación..... | 13 |
| Figura 7-1: | Esquema de las redes FTTx..... | 14 |
| Figura 8-1: | Arquitectura de red GPON..... | 20 |
| Figura 9-1: | Esquema de una red FTTH-GPON..... | 25 |
| Figura 10-1: | Equipo OLT ZTE..... | 25 |
| Figura 11-1: | Infraestructura de una red FTTH-GPON..... | 26 |
| Figura 12-1: | Cable De Fibra Óptica ADSS 48 Hilos..... | 29 |
| Figura 13-1: | Código de colores de fibra óptica (TIA-598)..... | 29 |
| Figura 14-1: | Splitter 1:8 para fusión..... | 30 |
| Figura 15-1: | Splitter 1:8 conectorizado..... | 30 |
| Figura 16-1: | Tipos de conectores..... | 32 |
| Figura 17-1: | Tipos de pulidos..... | 32 |
| Figura 18-1: | Distribuidor ODF..... | 34 |
| Figura 19-1: | Manga de empalme lineal..... | 34 |
| Figura 20-1: | Manga de empalme tipo domo..... | 35 |
| Figura 21-1: | Armario FDH..... | 35 |
| Figura 22-1: | Caja de Distribución Óptica NAP..... | 36 |
| Figura 23-1: | Roseta Óptica..... | 37 |
| Figura 24-1: | Tipos de Herraje..... | 37 |
| Figura 25-1: | Equipo ONT Huawei..... | 38 |
| Figura 1-2: | Mapa geográfico del sector Gatazo..... | 39 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| Figura 2-2: | Plataforma Web Georportal Eléctrico de la EERSA..... | 49 |
| Figura 3-2: | Georreferenciación de postes en Google Earth..... | 50 |
| Figura 4-2: | Topología de red tipo arbol | 51 |
| Figura 5-2: | Software Web TOMODAT2 | 54 |
| Figura 6-2: | Área de diseño de la red propuesta..... | 55 |
| Figura 7-2: | Ubicación del OLT..... | 56 |
| Figura 8-2: | Red Feeder | 57 |
| Figura 9-2: | Manga Troncal MT01 | 60 |
| Figura 10-2: | Manga Troncal MT02 | 61 |
| Figura 11-2: | Manga Troncal MT03 | 63 |
| Figura 12-2: | Manga Troncal MT04 | 64 |
| Figura 13-2: | Red de Distribución..... | 66 |
| Figura 14-2: | Red de Distribución en la zona Gatazo Hospital | 67 |
| Figura 15-2: | Armario de distribución de fibra FDH-MT01-A16 | 68 |
| Figura 16-2: | Armario de distribución de fibra FDH-MT01-B16..... | 70 |
| Figura 17-2: | Red de Distribución en la zona Gatazo Eleno Zambrano | 71 |
| Figura 18-2: | Armario de distribución de fibra FDH-MT02-A16 | 73 |
| Figura 19-2: | Armario de distribución de fibra FDH-MT02-B16..... | 74 |
| Figura 20-2: | Red de Distribución en la zona Gatazo Zambrano..... | 75 |
| Figura 21-2: | Armario de distribución de fibra FDH-MT03-A16 | 77 |
| Figura 22-2: | Armario de distribución de fibra FDH-MT03-B08..... | 78 |
| Figura 23-2: | Armario de distribución de fibra FDH-MT03-C08..... | 79 |
| Figura 24-2: | Red de Distribución en la zona Gatazo Grande | 80 |
| Figura 25-2: | Armario de distribución de fibra FDH-MT04-A08 | 81 |
| Figura 26-2: | Armario de distribución de fibra FDH-MT04-B08..... | 83 |
| Figura 27-2: | Armario de distribución de fibra FDH-MT04-C08..... | 84 |
| Figura 28-2: | Armario de distribución de fibra FDH-MT04-D08 | 85 |
| Figura 29-2: | Red de Distribución en la zona Gatazo Chico | 86 |
| Figura 30-2: | Armario de distribución de fibra FDH-MT04-E08..... | 87 |

| | | |
|---------------------|---|-----|
| Figura 31-2: | Armario de distribución de fibra FDH-MT04-F08 | 89 |
| Figura 32-2: | Armario de distribución de fibra FDH-MT04-G08 | 90 |
| Figura 33-2: | Diagrama de la red propuesta | 92 |
| Figura 1-3: | Potencia de emisión de los puertos del OLT | 103 |
| Figura 2-3: | Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de zona Gatazo Hospital | 104 |
| Figura 3-3: | Diagrama del enlace óptico del usuario más cercano de zona Gatazo Hospital | 105 |
| Figura 4-3: | Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de zona Gatazo Hospital | 106 |
| Figura 5-3: | Diagrama del enlace óptico del usuario más lejano de zona Gatazo Hospital.. | 107 |
| Figura 6-3: | Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de G. Elena Zambrano | 108 |
| Figura 7-3: | Diagrama del enlace óptico del usuario más cercano de G. Elena Zambrano.. | 109 |
| Figura 8-3: | Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de G. Elena Zambrano . | 110 |
| Figura 9-3: | Diagrama del enlace óptico del usuario más lejano de G. Elena Zambrano | 111 |
| Figura 10-3: | Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de zona G. Zambrano | 112 |
| Figura 11-3: | Diagrama del enlace óptico del usuario más cercano de la zona G. Zambrano | 113 |
| Figura 12-3: | Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de zona G. Zambrano ... | 114 |
| Figura 13-3: | Diagrama del enlace óptico del usuario más lejano de zona G. Zambrano | 115 |
| Figura 14-3: | Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de zona Gatazo Grande | 116 |
| Figura 15-3: | Diagrama del enlace óptico del usuario más cercano de zona Gatazo Grande. | 117 |
| Figura 16-3: | Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de zona Gatazo Grande | 118 |
| Figura 17-3: | Diagrama del enlace óptico del usuario más lejano de zona Gatazo Grande ... | 119 |
| Figura 18-3: | Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de zona Gatazo Chico | 120 |
| Figura 19-3: | Diagrama del enlace óptico del usuario más cercano de zona Gatazo Chico ... | 121 |
| Figura 20-3: | Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de zona Gatazo Chico .. | 122 |
| Figura 21-3: | Diagrama del enlace óptico del usuario más lejano de zona Gatazo Chico | 123 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gráfico 1-2: | Tipo de Conexión a Internet..... | 41 |
| Gráfico 2-2: | Ancho de Banda de Internet..... | 42 |
| Gráfico 3-2: | Frecuencia de problema de Internet | 43 |
| Gráfico 4-2: | Tipo de problema de Internet | 44 |
| Gráfico 5-2: | Grado de Satisfacción de Internet | 45 |
| Gráfico 6-2: | Beneficios de fibra óptica | 46 |
| Gráfico 7-2: | Planes de Internet con mayor disponibilidad y Ancho de Banda | 47 |
| Gráfico 8-2: | Contratación de Internet mediante fibra óptica | 48 |

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A** Encuesta realizada a los ciudadanos residentes del sector Gatazo
- ANEXO B** Hoja de especificaciones técnicas equipo OLT ZTE C320
- ANEXO C** Hoja de especificaciones técnicas equipo ONT HUAWEI HG8546M
- ANEXO D** Diseño de la red FTTH - GPON en el sector Gatazo
- ANEXO E** Autorización de la empresa MaxxNet Internet para desarrollo del proyecto

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

| | |
|--------|--|
| ADSS | All Dielectric Self Supported |
| APON | ATM Passive Optical Network |
| ATM | Asynchronous Transfer Mode |
| BPON | Broadband Passive Optical Network |
| DSL | Digital Subscriber Line |
| EPON | Ethernet Passive Optical Network |
| FDH | Fiber Distribution Hub |
| FTTB | Fiber To The Building |
| FTTC | Fiber To The Curb |
| FTTH | Fiber To The Home |
| FTTN | Fiber To The Node |
| GEM | GPON Encapsulation Method |
| GPON | Gigabit-capable Passive Optical Network |
| INEC | Instituto Nacional de Estadísticas y censos |
| ISP | Internet Service Provider |
| ITU-T | International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector |
| NAP | Network Access Point |
| NRZ | Non Return to Zero |
| ODF | Optical Distribution Frames |
| ODN | Optical Distribution Network. |
| OFC | Optical Fiber Cable |
| OLT | Optical Line Terminal |
| ONT | Optical Network Terminal |
| PON | Passive Optical Network |
| SDH-NG | Synchronous Digital Hierarchy – Next Generation |
| TDM | Time Division Multiplexing |
| WDM | Multiplexación por División de Longitud de Onda |
| XGPON | (10)- Gigabit-capable Passive Optical Network |

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo diseñar y evaluar una red de Fibra Óptica Hasta el Hogar (FTTH) utilizando el estándar ITU-T G.984.X mediante el software TOMODAT2 para proveer internet en el sector Gatazo perteneciente al cantón Colta, para la empresa MaxxNet Internet. Primero se realizó un estudio de demanda mediante encuestas en Gatazo y a continuación un estudio de factibilidad de ruta en donde se identificó, georreferenció y verificó la existencia de postes eléctricos necesarios para el despliegue aéreo de la red. Después se estudió el estándar ITU-T G.984.X para determinar los requerimientos técnicos necesarios para el diseño de la red FTTH en Gatazo, ajustando el diseño a la normativa de la tecnología de Red Óptica Pasiva con capacidad de Gigabit (GPON) clase B+. Posterior a eso se elaboró el diseño de la red FTTH con topología árbol mediante el software web TOMODAT2, utilizando inicialmente una relación de splitter 1:128 para las zonas de Gatazo más cercanas al equipo Terminal de Línea Óptica (OLT) y una relación de splitter 1:64 para las zonas más alejadas. Una vez terminado el diseño se realizaron los cálculos del presupuesto óptico y el balance de potencias del usuario más cercano y más lejano de cada una de las 5 zonas de la red. Finalmente se realizó una evaluación comparativa entre los valores de potencia de recepción obtenidos mediante cálculos teóricos y los valores obtenidos de la simulación en el software TOMODAT2, obteniendo así una diferencia de resultados mínima y corroborando que los resultados son óptimos al cumplir las estipulaciones de la normativa ITU-T G.984.X, garantizando así calidad de servicio. Se concluye que la red FTTH-GPON propuesta es factible y viable, mediante la cual la empresa MaxxNet Internet podrá proveer internet con altas prestaciones de manera oportuna a los ciudadanos de Gatazo.

Palabras clave: <FIBRA ÓPTICA>, <FIBRA HASTA EL HOGAR (FTTH)>, <RED ÓPTICA CON CAPACIDAD DE GIGABIT (GPON)>, <TERMINAL DE LÍNEA ÓPTICA (OLT)>, <SPLITTER>, <TOMODAT2 (SOFTWARE)>, <GATAZO (COMUNIDAD)>.



Firmado electrónicamente por:
ELIZABETH
FERNANDA AREVALO
MEDINA



1392-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

The current degree work was aimed to design and assess a Fiber to the Home (FTTH) using the ITU-T G.984.X standard through the TOMODAT2 software to provide internet to Gatazo sector in Colta canton, to MaxxNet Internet company. First, a demand study was carried out through surveys in Gatazo and then a route feasibility study where the existence of electrical poles necessary for the aerial deployment of the network was identified, georeferenced, and verified. Afterward, the ITU-T G.984.X standard was studied to determine the necessary technical requirements for the design of the FTTH network in Gatazo, adjusting the design to the standards of the Passive Optical Network technology with Gigabit capacity (GPON) B+ class. After that, the FTTH network with tree topology design was developed using the TOMODAT2 web software. In the beginning, a 1:128 splitter relationship was used for the closest areas in Gatazo to the Optical Line Terminal (OLT) equipment and a 1:64 splitter relationship for the most remote areas. Once the design was completed, the optical budget calculations and the power balance of the closest and furthest user of each of the 5 zones of the network were carried out. Finally, a comparative evaluation was carried out between the reception power values obtained through theoretical calculations and the values obtained from the simulation in the TOMODAT2 software, thus obtaining a minimal difference in results and corroborating that the results are optimal meeting the stipulations of the ITU-T G.984.X standard, guaranteeing the quality of service. It is concluded that the proposed FTTH-GPON network is feasible and viable, so the MaxxNet Internet company will be able to provide high-performance internet on time to the citizens of Gatazo.

Keywords: <FIBER OPTICS>, <FIBER TO THE HOME (FTTH)>, <GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON)>, <OPTICAL LINE TERMINAL (OLT)>, <SPLITTER>, <TOMODAT2 (SOFTWARE)>, <GATAZO (COMMUNITY)>.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es evidente el gran incremento de intercambio de información que existen en los sistemas de comunicaciones que proporcionan conexión a internet, pues esta herramienta se ha convertido en un pilar del desarrollo de la humanidad y debido a la gran cantidad de tráfico que generan los usuarios por los innumerables servicios digitales que van surgiendo, cada vez es más indispensable contar con una conexión de banda ancha.

En el Ecuador se utilizan varias tecnologías para satisfacer la demanda de internet existente, redes de internet inalámbricas o de cobre que si bien años atrás lograban ser suficientes para cubrir las necesidades de los usuarios, a día hoy presentan considerables limitaciones técnicas para proveer un servicio de banda ancha a gran escala. Sin embargo, existen redes de fibra óptica que con la ayuda de tecnologías de vanguardia como GPON han logrado sobresalir y se han convertido hoy en día en el sistema de comunicación preferido por los usuarios, debido a que brinda mejores prestaciones que redes con otro medio de comunicación.

El despliegue de redes de fibra óptica por parte ISPs en los cantones de Chimborazo se ha limitado en gran mayoría a las zonas urbanas, mientras que en zonas rurales como el sector Gatazo perteneciente a al cantón Colta, el ISP MaxxNet Internet años atrás optó por la implementación de una red con tecnología inalámbrica para proveer internet en dicho sector, misma red que a día de hoy no permite satisfacer la alta demanda de clientes que han ido surgiendo ni cumplir con los requerimientos de clientes cada vez más exigentes con respecto a la calidad de su servicio, convirtiéndose esto en un gran inconveniente para la empresa.

Evidenciando la problemática de MaxxNet Internet empresa privada de Riobamba, el objetivo del presente trabajo de titulación es diseñar y evaluar una red FTTH utilizando el estándar ITU-T G.984.X mediante el software TOMODAT2 para el sector de Gatazo, todo con la finalidad de que MaxxNet Internet tome la decisión de migrar de una red inalámbrica ya saturada a la red FTTH propuesta, y en consecuencia una vez implementada la red pueda proveer a los ciudadanos del sector Gatazo un servicio de internet de mejores prestaciones y a una mayor escala.

ANTECEDENTES

Existen desventajas que se derivan por la implementación de redes inalámbricas respecto a redes cableadas, como las interferencias electromagnéticas que pueden ser provocada por redes inalámbricas cercanas o incluso por otros equipos conectados inalámbricamente a la misma red, menor velocidad de transmisión de datos al igual que una menor seguridad en la red debido a que el medio de transmisión es el aire (Ramírez & Díaz, 2012).

Con el objetivo de lograr servicios de gran ancho de banda accesible para usuarios lejanos, a los cuales no es posible llegar con tecnologías xDSL, (x línea de suscripción digital por su traducción en español) debido a limitaciones técnicas de funcionamiento por largas distancias, se vuelven atractivas las tecnologías disponibles y topologías implementables de redes FTTH (fibra óptica hasta el hogar por su traducción en español) (Abreu, y otros, 2009).

En el Ecuador el crecimiento en el despliegue de fibra óptica sigue creciendo en año tras año, el país cuenta con un despliegue de aproximadamente 60mil kilómetros de fibra óptica (MINTEL, 2016), llegando casi a la totalidad de ciudades principales del país permitiendo un fácil acceso a internet y otros servicios de comunicaciones, el acceso a internet se ha convertido en un pilar fundamental para el desarrollo de varios sectores como el industrial y educativo.

Actualmente en los cantones de la provincia de Chimborazo el despliegue de redes mediante fibra óptica para proveer del servicio de internet es limitado a zonas urbanas, convirtiéndose en una limitante en los sectores rurales para los ciudadanos que quieran acceder u optar de manera fácil y oportuna por servicio de internet de calidad, como lo es el caso del sector de Gatazo perteneciente al cantón Colta, donde actualmente solo existe servicio de Internet mediante redes inalámbricas.

Hoy en día la empresa MaxxNet Internet, debido a la alta demanda de clientes que han surgido en los últimos meses en el sector de Gatazo, además de clientes que cada vez son más exigentes con respecto a la calidad de servicio de internet inalámbrico que actualmente reciben en el mismo sector, la empresa se ha visto en la necesidad de migrar de una tecnología de red inalámbrica ya está saturada a una red FTTH con tecnología GPON para proveer servicio de internet de mejor calidad y a una mayor escala.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Existe una red con una tecnología capaz proveer servicio de internet con un ancho de banda a gran escala garantizando calidad de servicio en el sector de Gatazo perteneciente al cantón Colta?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Debido al uso masivo de internet, en donde cada día la demanda de personas que requieren un medio que soporte grandes velocidades de transmisión, para compartir gran cantidad de información multimedia, como video, llamadas de voz, video conferencias, televisión en vivo, etc. ha obligado a que los ISPs (Proveedores de Servicio de Internet) opten por la implementación de redes de fibra óptica para proveer de servicio de internet con ancho de banda a gran escala. De tal manera que los sistemas inalámbricos y tecnologías xDSL van perdiendo de a poco campo frente a sistemas que usan fibra óptica debido a las limitaciones técnicas que estas tecnologías presentan.

Las redes GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network) están siendo implementado con éxito mundialmente, permitiendo acceder a servicios de ancho de banda a velocidades de Gbps compartido entre los abonados residenciales y pequeñas oficinas, en arquitecturas FTTH (Fiber-To-The-Home) en donde un hilo fibra óptica es llevada directamente hasta el usuario final (Osorio, 2016, p.16).

Una red de arquitectura FTTH con tecnología GPON permite transporte de información con mayor ancho de banda y múltiples servicios como internet, voz, televisión IP entre otras. Comparado con las redes de cobre, la fibra óptica ofrece mayor seguridad de la información, mayor estabilidad, resistencia a las interferencias electromagnéticas, menor degradación de la señal, logrando manejar grandes volúmenes de tráfico de datos, de manera confiable y rápida, a través de una red certificada bajo normas y estándares establecidos (Quisnancela & Espinosa, 2016).

El tema del trabajo de titulación está enfocado en el estudio de la tecnología GPON, estudio de demanda y factibilidad de red, además del aprendizaje del software web TOMODAT2 para poder realizar el diseño y evaluación de una red FTTH, capaz de proveer servicio de internet con un ancho de banda a gran escala garantizando calidad de servicio en el sector de Gatazo perteneciente al cantón Colta donde actualmente solo existe servicio de Internet mediante redes inalámbricas.

Proyectos similares de gran acogida pero enfocados en otras ciudades del país, como el trabajo de Maestría en Redes de Comunicación de la Universidad Católica del Ecuador denominado “ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA RED FTTH CON TECNOLOGÍA GPON PARA EL ISP TRONCALNET EN EL CANTÓN CAÑAR” (León, 2015), así como el trabajo de Ingeniería en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo denominado “DISEÑO DE UNA RED FTTx UTILIZANDO ESTÁNDAR G.984.X PARA PROVEER SERVICIO TRIPLE PLAY EN LA ZONA URBANA DEL CANTÓN CHAMBO” (Cruz, 2019), servirán como modelos de referencia para el desarrollo del proyecto.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

El presente proyecto surge como solución a la alta demanda de clientes del sector de Gatazo que han solicitado servicio de internet a la empresa la MaxxNet Internet. La empresa hoy en día solo cuenta con servicio de internet mediante una red con tecnología inalámbrica que está prácticamente saturada, este tipo de red utilizada para proveer de internet en el sector de Gatazo a lo largo del tiempo ha presentado limitaciones técnicas así como una compleja escalabilidad respecto a una red cableada mediante fibra óptica.

La importancia del proyecto radica en el diseño y evaluación de una red de fibra óptica FTTH utilizando la tecnología GPON a través de la cual una vez implementada la red se pretende mejorar y/o ofrecer a clientes actuales y potenciales del sector de Gatazo un servicio de internet de calidad, con inmunidad a interferencia electromagnética, con un ancho de banda más generoso y a un precio más justo respecto al servicio de internet inalámbrico que ofrecen otros proveedores en el sector. Además el diseño y evaluación de la red se realizará acorde a los parámetros técnicos de una red FTTH establecidos en el estándar G.984.X emitido por la ITU-T para garantizar calidad del servicio.

MaxxNet Internet empresa privada de Riobamba será favorecida de los resultados obtenidos del estudio realizado en este proyecto para tomar la decisión de implementar la red FTTH- GPON en el sector de Gatazo perteneciente al cantón Colta. Tras esto los principales beneficiarios del desarrollo de este proyecto serán los ciudadanos del sector de Gatazo, debido a que podrán acceder u optar de manera fácil y oportuna a un servicio de internet por medio de una red FTTH- GPON con mejores prestaciones técnicas respecto a un servicio de internet mediante tecnología inalámbrica.

A continuación en la figura 1 se muestra un diagrama que ejemplifica la arquitectura de una red FTTH-GPON y el área geográfica en donde se realizará el diseño de la red propuesta.

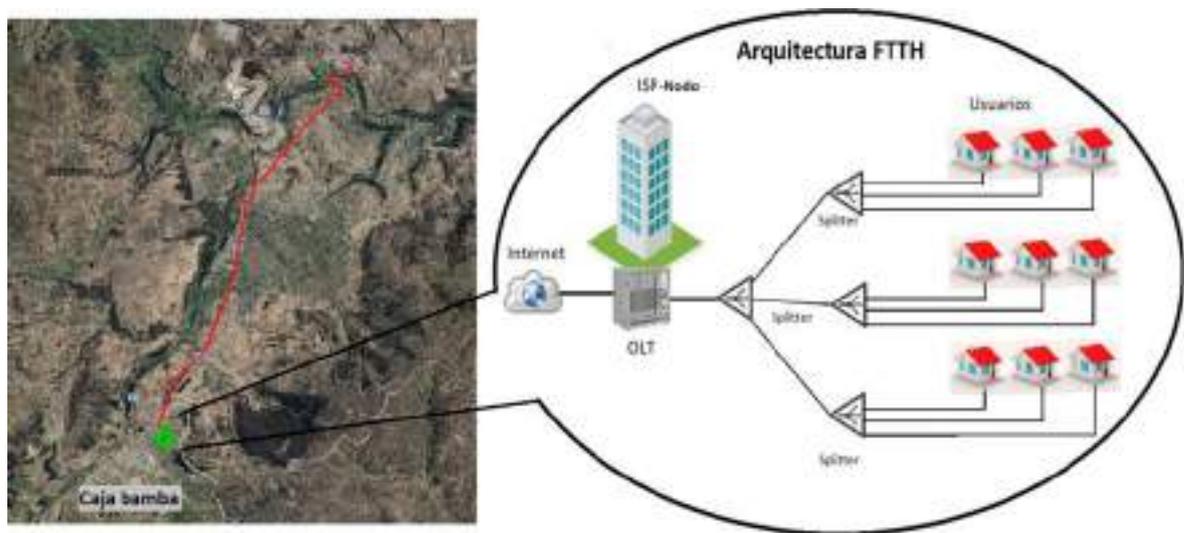


Figura 1: Área de diseño de la red GPON-FTTH

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y evaluar una red FTTH utilizando el estándar ITU-T G.984.X mediante el software TOMODAT2 para proveer servicio de internet en el sector de Gatazo para MaxxNet Internet empresa privada.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de demanda y factibilidad en el sector de Gatazo que permita determinar la viabilidad de la implementación una red FTTH.
- Estudiar el estándar ITU-T G.984.X para determinar los requerimientos técnicos necesarios para el diseño una red FTTH en el sector de Gatazo.
- Diseñar una red FTTH con topología árbol mediante el software TOMODAT2 para proveer servicio de internet en el sector de Gatazo.
- Realizar una evaluación comparativa de los parámetros técnicos de la red FTTH propuesta de acuerdo con el estándar ITU-T G.984.X para garantizar parámetros de calidad de servicio.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Sistema de comunicaciones ópticas

Se considera un sistema comunicaciones óptico a un sistema electrónico de comunicaciones que usa la luz como portador de información. Pero debido a que transmitir ondas luminosas por la atmósfera de la tierra es difícil e impráctico, los sistemas de comunicaciones con fibra óptica usan filamentos muy delgados de vidrio o de plástico para contener las ondas luminosas y guiarlas de forma similar a como se propagan las ondas electromagnéticas en una guía de ondas (Tomasi, 2003, p.422).

1.1.1. Tipos de red de fibra óptica

Existen diversas tecnologías disponibles y topologías implementables a fin de realizar un despliegue de acceso mediante fibra óptica. Estas tecnologías pueden clasificarse en primera instancia en dos grandes grupos: activas y pasivas.

1.1.1.1. Red óptica activa (AON)

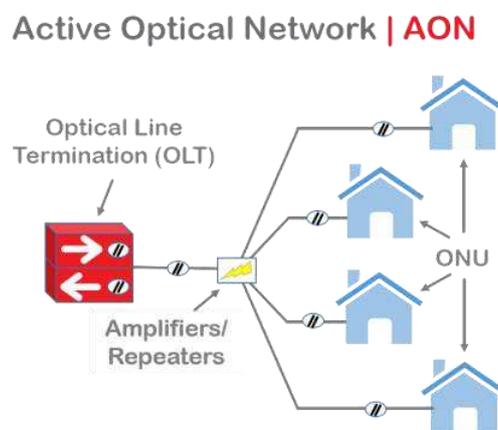


Figura 1-1: Diagrama de Red Óptica Activa

Fuente: Álvaro Osorio; 2016.

Red de fibra óptica en la cual se utilizan elementos activos, tanto en la central como fuera de ella, que requieren fuente de energía externa para su funcionamiento permitiendo así largas distancias

entre la central y los clientes, observar figura 1-1. Ejemplos de este tipo de redes serían una red SDH-NG o una red Metro Ethernet lo suficientemente distribuidas de manera que permitan conectar directamente los clientes a la red, cumpliendo la función de red de acceso y no únicamente de transporte como es actualmente (Abreu, y otros, 2009).

1.1.1.2. Red óptica pasiva (PON)

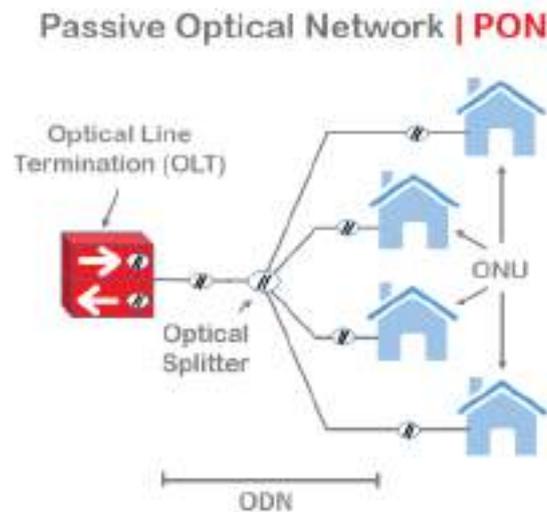


Figura 2-1: Diagrama de Red Óptica Pasiva

Fuente: Álvaro Osorio; 2016.

Red de fibra óptica en la cual los componentes son en su totalidad pasivos, es decir no requieren fuente de energía externa para su funcionamiento (no en la central y domicilio del cliente). Esta red que se caracteriza por una gran variedad de aplicaciones, mediante accesos de fibra óptica, pues permiten compartir una misma fibra entre varios usuarios (Abreu, y otros, 2009). Dentro de la estructura que componen las redes PON están varios elementos esenciales como se muestra en la Figura 2-1:

- OLT (Optical Line Terminal): Terminal de línea óptico ubicado en la oficina central del proveedor.
- ODN (Optical Distribution Network): La Red de distribución óptica comprende la trayectoria entre la OLT y ONU y está conformado por elementos pasivos como fibra óptica, atenuadores, empalmes, splitters y conectores.
- ONU/ONT (Optical Network Terminals / Optical Network Unit): Terminales de red óptica también conocidas como unidad de red óptica, se encuentran en el domicilio del cliente y proveen interfaces de fibra óptica hacia la red ODN.

1.2. Fibra Óptica

Los cables de fibra óptica son filamentos de vidrio (compuestos de cristales naturales) o plástico (cristales artificiales) ultradelgados, del espesor de un pelo (entre 10 y 300 micrones). La fibra óptica es un medio con una alta capacidad y velocidad de transmisión, la información se propaga en forma de haces de luz, viajando sin interrupción de un extremo a otro, donde quiera que la fibra vaya, incluyendo curvas y esquinas (Rodríguez, 2009, p.6).

1.2.1. Características de la Fibra Óptica

Las comunicaciones a través de cables de fibra de vidrio o de plástico ofrece más ventajas que desventajas, las cuales resultan abrumadoras sobre las comunicaciones que usan instalaciones convencionales de cable metálico o coaxial (Tomasi, 2003, pp.423-425).

1.2.1.1. Ventajas de los sistemas de fibra óptica frente a cables metálicos

- La fibra óptica es un medio que ofrece mayor capacidad de información que los cables de cobre, debido a los anchos de banda, inherentemente mayores con las frecuencias ópticas.
- Los cables de fibra óptica son inmunes a la diafonía entre cables cercanos, debida a la inducción magnética. Las fibras de vidrio o de plástico son no conductores de electricidad, por lo tanto no tienen campos magnéticos.
- Los cables de fibra óptica son inmunes al ruido de estática que causa la interferencia electromagnética generado por fuentes de ruido eléctrico. Esta inmunidad se debe a que la fibra óptica no es conductora de la electricidad, además que el ruido eléctrico no afecta la energía en las frecuencias luminosas asociados con ellas.
- Los cables ópticos son más resistentes a entornos externos que los cables de cobre, también funcionan dentro de un rango más amplio de cambios de temperatura y son menos afectados por los líquidos y gases corrosivos.
- Los cables ópticos son más seguros que los cables de cobre, pues es virtualmente imposible ingresar a un cable de fibra sin la atención del usuario o administrador de red.

1.2.1.2. Desventajas de los sistemas de fibra óptica frente a cables metálicos

- Los sistemas de fibra óptica son virtualmente inútiles por sí mismos, para ser prácticos se deben conectar a instalaciones electrónicas normales, lo cual requiere interconexiones costosas.

- Los cables de fibras ópticas tienen una menor resistencia a la tensión que los cables metálicos o coaxiales.
- Potencia eléctrica remota, a veces es necesario llevar energía eléctrica a un equipo remoto de interconexión o de regeneración. Los cables ópticos no pueden hacer esto, por lo que se deben agregar más cables metálicos al cableado.
- Los sistemas de comunicaciones que utilizan fibra óptica requieren herramientas especiales para empalmar y reparar cables, y equipos especiales de prueba para mediciones de rutina. La reparación de cables ópticos también es difícil y costosa, y los técnicos que trabajan con cables de fibra óptica requieren de habilidades y capacitación especializada.

1.2.2. Estructura de la fibra óptica

Una fibra óptica consiste en un material transparente cilíndrico de gran longitud que confina y propaga ondas de luz. Un cable de fibra óptica se conforma por tres capas diferentes: el núcleo central por donde viajan las ondas de luz, el revestimiento que cubre el núcleo y que confina la luz dentro del núcleo y el recubrimiento que protege al revestimiento. Generalmente el núcleo y el revestimiento están hechos de vidrio de sílice, mientras que el recubrimiento es una cubierta de plástico o acrílico (Chomycz, 2001, p.17).

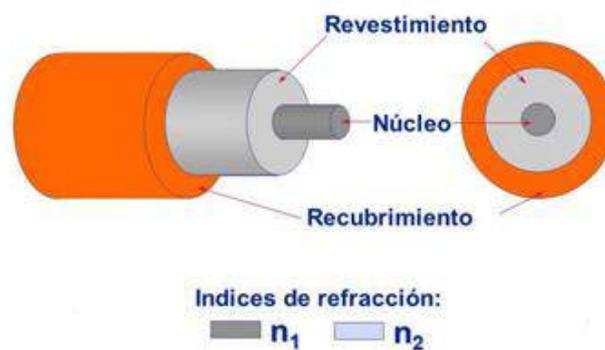


Figura 3-1: Estructura de Fibra Óptica

Fuente: Geller, Monica; 2015.

1.2.3. Tipos de fibra óptica

Se clasifica según el modo de propagación de la luz por el núcleo y existen 2 tipos: la fibra multimodo y monomodo.

1.2.3.1. Fibra multimodo (MM)

La fibra multimodo tiene un núcleo de 50 a 62.5 micrones y la cubierta de 125 micrones de diámetro y utiliza el diodo LED como fuente de luz (Tomasi, 2003).

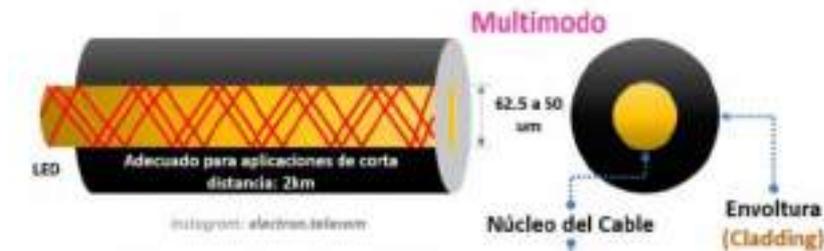


Figura 4-1: Fibra multimodo

Fuente: electron-telecom; 2020.

En fibra multimodo el haz de luz puede propagarse por varios caminos o modos. Este tipo de fibra se utiliza para realizar enlaces de distancias cortas menores a 2 km y se trabajan en las ventanas de 850nm y 1300nm (Gallardo & Lojano, 2014, p.47).

1.2.3.2. Fibra monomodo (SM)

Tiene un núcleo de 8 a 10 micrones y la cubierta de 125 micrones de diámetro y utiliza el diodo LASER como fuente de luz (Tomasi, 2003).



Figura 5-1: Fibra multimodo

Fuente: electron-telecom; 2020.

En la fibra monomodo el haz de luz viaja por la fibra siguiendo un único camino o modo, logrando que la reconstrucción de la señal en el extremo del receptor sea de mejores características que en la fibra multimodo, esto se logra gracias a que el diámetro del núcleo es pequeño. Este tipo de fibra se utiliza para realizar enlaces de largas distancias mayores a 2km y se trabaja en la ventana de 1300nm y 1550nm (Gallardo & Lojano, 2014, p.48).

1.2.4. Atenuación en la fibra óptica

La atenuación es la pérdida de potencia de la onda luminosa al atravesar el cable de fibra óptica y es una de las características más importantes a tomar en cuenta al momento de diseñar e implementar una red de comunicación óptica, ya que la atenuación limitara la máxima distancia entre el transmisor y receptor.

La atenuación en la fibra óptica produce consecuencias negativas sobre el desempeño de un sistema de comunicación óptico, como la reducción del ancho de banda del sistema, y de la rapidez de transmisión de información, además que la eficiencia y la capacidad general del sistema se ven restringidas (Tomasi, 2003, p.442). La fórmula normal con la que se expresa la pérdida total de potencia en un cable de fibra es:

$$A(dB) = 10 \log \left(\frac{p_{sal}}{p_{ent}} \right)$$

en la que

$A(dB)$ = reducción total de potencia (atenuación)

p_{sal} = potencia de salida del cable (watts)

p_{ent} = potencia de entrada al cable (watts)

Las especificaciones de un cable de fibra óptica expresan las pérdidas del cable como la atenuación en decibelios para un kilómetro de longitud (dB/km). Las pérdidas de la fibra óptica son causadas por diversos factores y pueden clasificarse en pérdidas intrínsecas o propias del material que compone la fibra y en pérdidas extrínsecas debidos a factores ajenos al material que compone la fibra (Chomycz, 2001, p.28).

A continuación en la tabla 1-1 se detalla los diferentes tipos de pérdidas extrínsecas e intrínsecas de la fibra óptica.

Tabla 1-1: Pérdidas intrínsecas y extrínsecas de fibra óptica.

| | Tipo de perdidas | Causas |
|----------------------|------------------|---|
| Perdidas extrínsecas | Macrocurvatura | Cuando se curva demasiado, que puede ser por instalación, se especifica un radio mínimo de curvatura con relación al diámetro del cable. |
| | Mircrocurvatura | Las pequeñas fisuras en el núcleo son causadas por deformación de fabricación o de instalación, también por cambios de temperatura del cable. |

Tabla 1-1: Pérdidas intrínsecas y extrínsecas de fibra óptica. (Continuación)

| | | |
|----------------------|----------------------------------|--|
| | Empalmes y conexiones | Las diferencias en los núcleos, ángulo después del empalme, el tipo de conector óptico |
| Perdidas intrínsecas | Absorción | Rayos UV, rayos IR, absorción de OH y las impurezas en el núcleo |
| | Dispersión "Rayleigh scattering" | Los rayos de luz se reflejan en todas las direcciones |

Fuente: (Ayala, 2019, p.24)

La señal que se trasmite en la fibra óptica pierde potencia con la distancia, tal y como ocurre en otros medios como cables de cobre, esto se debe a la absorción y la dispersión de la luz en el vidrio. La atenuación varía mucho dependiendo las ventanas o bandas de trabajo (infrarrojo cercano) de la fibra óptica, pues el vidrio no es igual de transparente a todos los colores de la luz (Montañana, 2018). En la figura 6-1 se muestra el comportamiento de la atenuación en cada una de las ventanas ópticas.

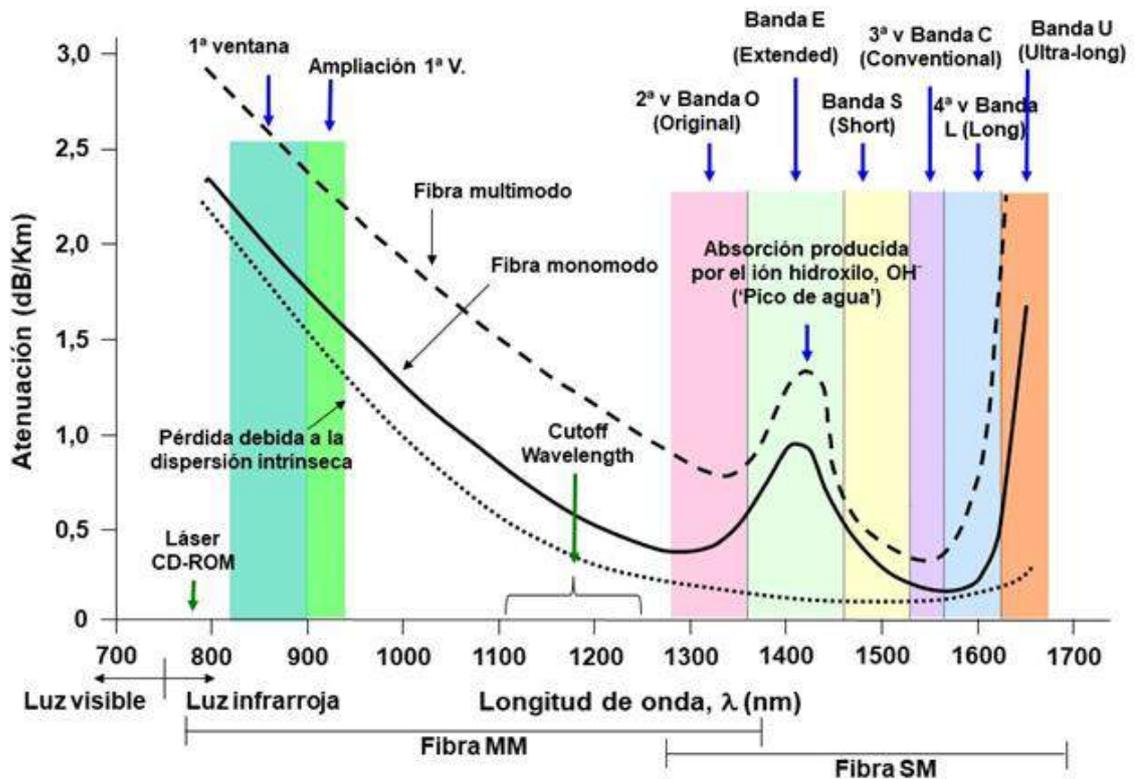


Figura 6-1: Atenuación típica de la fibra. Longitud de onda vs Atenuación

Fuente: Montañana, Rogelio; 2018.

En base a la anterior figura 6-1, a continuación se detalla la atenuación y rango de cada una de las ventanas ópticas en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Atenuación en las ventanas de fibra óptica

| Ventana | Banda | λ (nm) | Atenuación (dB/Km) | Alcance (Km) | Tipo de fibra | Aplicaciones |
|---------------|-------|----------------|--------------------|--------------|---------------|----------------|
| 1ra (años 70) | | 820 - 900 | 2,5 | 2 | MM | Eth |
| 2da (años 80) | O | 1260 - 1360 | 0,34 | 40 – 100 | MM y SM | Eth, CWDM, SDH |
| (años 00) | E | 1360 – 1460 | 0,31 | 100 | SM | CWDM |
| (años 00) | S | 1460 – 1530 | 0,25 | 100 | SM | CWDM |
| 3ra (años 90) | C | 1530 – 1565 | 0,2 | 160 | SM | Eth, C/DWDM |
| 4ta (años 00) | L | 1565 – 1625 | 0,22 | 160 | SM | C/DWDM |
| (años 00) | U | 1625 - 1675 | 0,25 | | SM | |

Fuente: (Montañana, 2018)

1.3. Redes FTTX

La utilización de la tecnología PON para proveer conectividad de banda ancha en la red de acceso a los hogares, unidades de ocupación múltiple y pequeñas empresas se denomina Fiber-to-the-x, donde la letra x indica qué tan cerca está el punto final de la fibra para el usuario (Keiser, 2006, p.14).

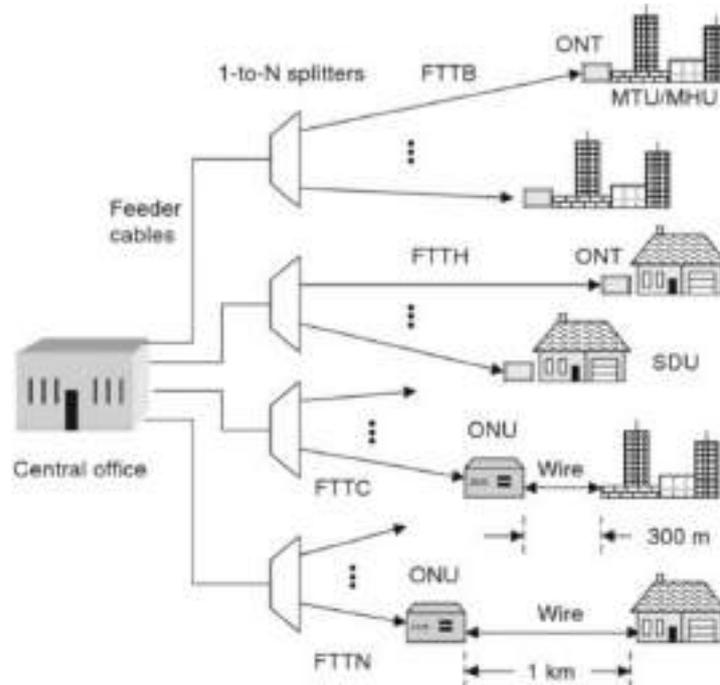


Figura 7-1: Esquema de las redes FTTx

Fuente: Keiser, Gerd; 2006.

En la figura 7.1. se ilustra los esquemas principales arquitecturas de las redes FTTX diferenciándose una de otra por la distancia de acercamiento de fibra óptica al usuario final.

1.3.1. *FTTN (Fiber to the Node)*

Fibra hasta el nodo, se refiere a una arquitectura PON en la que los cables de fibra óptica se extienden desde la oficina central hasta un nodo intermedio o central secundaria aproximadamente a 1 km de los hogares y negocios que reciben servicios de la red (Keiser, 2006, p.15). En este último tramo también conocido como última milla se realiza una distribución mediante cables metálicos como coaxial o par trenzado de cobre.

1.3.2. *FTTC (Fiber to the Curb)*

Fibra hasta la acera, se refiere al tendido de cables de fibra óptica iniciando en el equipo de la oficina central y finalizando en un conmutador de comunicaciones ubicado a aproximadamente 300 m de una casa o empresa (Keiser, 2006, p.15). Se utiliza cable coaxial, cables de cobre de par trenzado (Ej., Para DSL) o algún otro medio de transmisión para conectar el equipo de la acera a los clientes de un edificio.

1.3.3. *FTTB (Fiber to the Building)*

Fibra hasta el edificio o empresa, se refiere al despliegue de cable de fibra óptica desde un conmutador de oficina central de manera ininterrumpida hacia a una empresa o edificio ya sea comercial o residencial (Keiser, 2006, p.15). A partir de este punto la distribución hacia los usuarios finales se lo hace a través de una red LAN como ethernet o a mediante una distribución basada en cable telefónico o coaxial.

1.3.4. *FTTH (Fiber to the Home)*

Fibra hasta el hogar, se refiere a una arquitectura ideal para implementar tendido de fibra óptica completo con trayectorias largas desde la oficina central hasta el hogar del cliente, brindando así un servicio con una alta velocidad de transmisión de datos, y además en caso de ser un servicio triple play voz, y video de alta calidad (León, 2015, p.41).

1.3.5. *Comparativa de Redes FTTx.*

A continuación en tabla 3-1 se detalla de manera resumida las características de las redes de acceso FTTx.

Tabla 3-1: Comparativa de Redes FTTX

| FTTX | Alcance | Características |
|-------------|---|---|
| FTTN | Fiber ToThe Node (Fibra hasta el Nodo) | - Fibra Óptica desde la central hasta una distancia del edificio entre 1 – 3 Km. - 200 – 500 hogares por fibra. - Servicios de 30 Mbps. |
| FTTC | Fiber To The Curb (Fibra hasta la acera) | -Fibra Óptica desde la central hasta una distancia del edificio entre 300 – 600 m. - 10 a 100 hogares por fibra. - Servicios de 50 Mbps. |
| FTTB | Fiber To The Building (Fibra hasta el edificio) | - Fibra Óptica desde la central hasta el cuarto de telecomunicaciones del edificio sin incluir tendido hasta el hogar. -30 hogares por fibra. -Servicios de 100 Mbps. |
| FTTH | Fiber To The Home (fibra hasta el hogar) | - Fibra Óptica desde la central hasta el PTR de los hogares. - 1 hogar por fibra. - Servicios de más de 100 Mbps |

Fuente: (Villacrés & Muriel, 2016, p.7)

Las redes TFFN y FTTC se diferencia en su arquitectura, debido a que la transmisión en su última milla es mediante cobre y esto no permite tasas de transferencia elevadas, la red FTTB es parecida su segmento de cobre es menor únicamente en el último tramo del edificio de los abonados.

Por último tenemos la red FTTH, y su arquitectura se diferencia de las demás al estar conformada en su totalidad por fibra óptica de ahí su nombre fibra hasta el hogar, este tipo de red es actualmente la más implementada, pues goza de los beneficios de la fibra óptica como medio de transmisión y es la más adecuada para ofrecer servicios de gran ancho de banda a múltiples usuarios.

1.4. Estándares PON

Hoy en día las redes PON cuentan con diversas tecnologías como: APON, BPON, EPON, GPON y XGPON, definidos en diversos estándares los cuales han ido evolucionando a través de los años, diferenciándose una de otra por la mejora de características técnicas como la velocidad de transmisión.

1.4.1. Recomendaciones ITU-T G.983.X

1.4.1.1. APON (ATM PON)

ATM PON fue el primer estándar definido por el comité FSAN (Full Service Acces Network / Servicio completo de acceso de red), en donde se emplea el protocolo de señalización ATM (Modo de transferencia asíncrona) en la capa de enlace de datos.

La transmisión de APON en canal descendente se realiza mediante ráfagas de celdas ATM con una tasa de transferencia de datos máxima de 155 Mbps, la cual será dividida para el número de clientes que estén conectados. Esta tecnología presentaba una limitación en la tasa de transferencia de datos pues inicialmente solo contaba con 155 Mbps, sin embargo después aumentaría hasta los 622 Mbps (Gomez & Morejon, 2012, p.30).

1.4.1.2. BPON (Broadband PON)

Broadband PON (Red Óptica Pasiva de Banda Ancha) está basada en las redes APON pero con la diferencia que incluye una gama de servicios de banda ancha. Al igual que APON originalmente estaba definida con una tasa de 155 Mbps fijos tanto en canal ascendente como descendente; pero, más adelante, se modificó para admitir tasas de transferencias en canal ascendente de hasta 622 Mbps y en canal descendente de 622 Mbps y hasta 1244 Mbps (Arevalo & Yunga, 2011, p.8).

B-PON reemplaza el uso que se le daba a APON. no obstante presentaban un coste elevado y limitaciones técnicas.

1.4.2. Estándar IEEE 802.3

1.4.2.1. EPON (Ethernet PON)

Estándar desarrollado por el grupo de trabajo EFM (Ethernet in the First Mile / Ethernet en la última milla) fundado por la IEEE y descrito en la sección número cinco de la norma, donde se expone la manera de adaptar la tecnología Ethernet con los beneficios de la fibra óptica (Moreno, 2008, p.37).

EPON basa su arquitectura en la transmisión de tráfico manteniendo las características de la especificación Ethernet (802.3). Comparado con estándares anteriores, presenta las siguientes ventajas: transmisión de datos a velocidades de gigabit, interconexión de islas EPON más simple y reducción de costos debido a que no se emplea elementos ATM (Moreno, 2008, p.37).

1.4.3. Recomendaciones ITU-T G.984.X

1.4.3.1. GPON (Gigabit-Capable PON)

Según el estándar de GPON (ITU-T G.984.1, 2008), esta tecnología es una evolución de BPON, pues permite altas tasas de transferencia de datos, una mayor seguridad de la información y diferentes alternativas del protocolo de capa de enlace de datos (ATM, GEM, Ethernet), entre las características principales que ofrece GPON tenemos:

- Distancia máxima de 20 km
- Relación de división máxima de 1:128
- Soporte de tasas de transferencia; simétrica a 1,25 Gbps y asimétrica a 1,25Gbps en canal ascendente y a 2,5 Gbps en canal descendente.
- Convergencia de múltiples servicios: datos, voz y video (Triple play)

1.4.4. Recomendaciones ITU-T G.987.X

1.4.4.1. XGPON (10 Gigabit-Capable PON)

XGPON o 10GPON es el estándar de próxima generación de ITU-T que sigue a GPON, este estándar ofrece tasas de transferencia de datos asimétrica de hasta 10 Gbps en sentido descendente y 2,5 Gbps en sentido ascendente.

ITU-T G.987 es el estándar de la tecnología XGPON y en esencia es una versión mejorada de GPON, ofreciendo mayor ancho de banda, permite las mismas capacidades que GPON y ambas tecnologías pueden coexistir en una misma fibra, sin embargo la implementación de XG-PON hasta ahora es mínima.

1.4.5. Comparación de estándares PON

A continuación en la tabla 4-1 se puede identificar las principales características de las tecnologías PON disponibles.

Tabla 4-1: Comparativa de tecnologías PON

| | APON / BPON | EPON | GPON | XGPON |
|--|--------------------|--------------|-------------------------|---------------|
| Estándar | ITU-T G983.X | IEEE 802.3ah | ITU-T G984.X | ITU-T G987.X |
| Protocolo capa 2 | ATM | Ethernet | ATM, Ethernet, TDM, GEM | CWDM, TDM |
| Velocidad de datos (Upstream) | 155 Mbps | 1.25 Gbps | 1.25 o 2.5 Gbps | 2.5 Gbps |
| Velocidad de datos (Downstream) | 155 o 622 Mbps | 1.25 Gbps | 1.25 o 2.5 Gbps | 10 Gbps |
| Distancia máxima | 20 km | 10 o 20 km | 10 o 20 km | 20 km o 40 km |
| Radio de división | 1:32 | 1:32 | 1:64 o 1:128 | 1:128 o 1:256 |

Fuente: (Guijarro, 2005, pp.70-72) & (Valle, 2015, pp.8-9)

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

El uso de una determinada tecnología para redes pasivas ópticas depende en gran parte de los requerimientos de los usuarios. Las tecnologías APON y BPON son tecnologías que ofrecen velocidades de transmisión un poco limitadas para las necesidades de servicios de ancho de banda hoy en día, su relación de división es de hasta 1:32 y basan su transmisión en el protocolo ATM. La tecnología GPON posee ventajas que nos ofrece frente a los dos anteriores estándares, pues es una mejora de BPON, su transmisión está basado en tráfico ethernet, ofrece altas tasas de transferencia de datos hasta 2.5 Gbps y relación de división (splitter) de hasta 1:128, esto quiere decir que un hilo de fibra óptica puede dar servicio a 128 clientes.

XGPON es sin duda la tecnología actual que mejores características técnicas ofrece, como velocidades de transmisión de hasta 10 Gbps y una relación de división de hasta 1:256, incluso permite un mayor alcance que los otros estándares de hasta 40Km, sin embargo el uso de esta tecnología aún no se ha masificado.

1.5. Red GPON (Gigabit-Capable PON)

La Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit es una tecnología que usa fibra óptica como medio de transmisión para llegar a los clientes. Sus estándares técnicos fueron emitidos por ITU-T en la serie de recomendaciones ITU-T G.984.X. Esta normativa trata de las redes PON a velocidades de transferencia mayores a 1 Gbps, a la cual todos los fabricantes deben sujetarse para garantizar la interoperabilidad entre equipos (ITC-ECUADOR, 2018).

1.5.1. *Arquitectura de red*

Según lo establecido por la ITU-T, la sección óptica de un sistema de red de acceso local puede ser activa o pasiva y su arquitectura puede ser punto a punto o punto a multipunto. La figura 8-1 muestra las arquitecturas disponibles, que van de la fibra hasta el hogar (FTTH) pasando por la fibra hasta el edificio / la acera (FTTB/C), hasta la fibra hasta el armario (FTTCab) (ITU-T G.984.1, 2008).

La OAN (red de acceso óptico) es común a todas las arquitecturas presentadas en la figura 8-1; por consiguiente, la uniformidad de este sistema brinda la posibilidad de generar grandes volúmenes a escala mundial (ITU-T G.984.1, 2008).

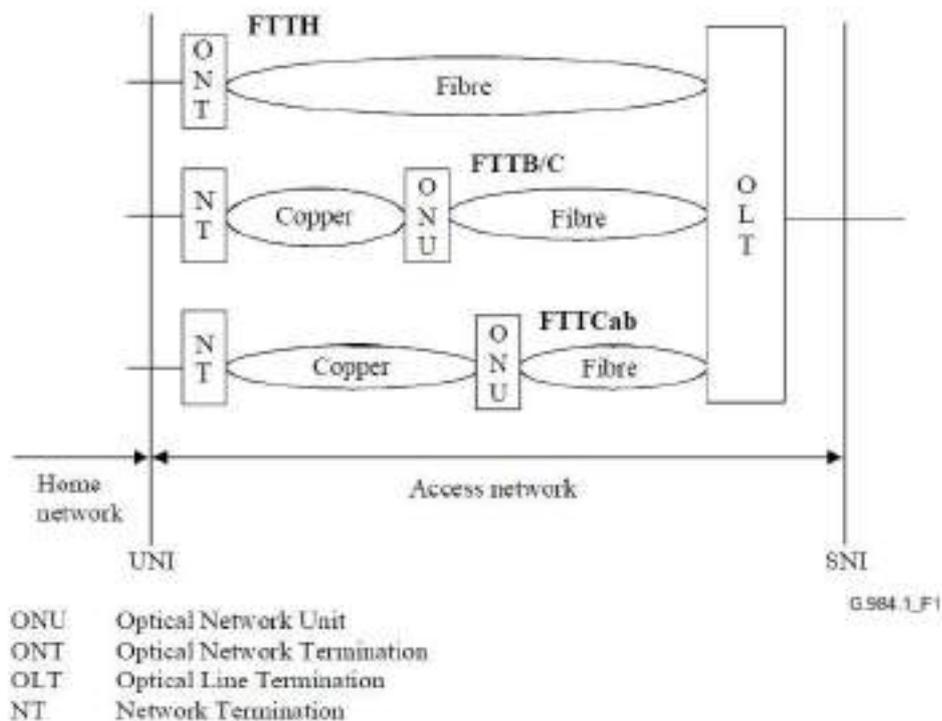


Figura 8-1: Arquitectura de red GPON

Fuente: ITU-T G.984.1; 2008.

1.5.2. Recomendaciones ITU-T G.984.X

La serie ITU-T G.984.X inicialmente estaba conformado de 5 recomendaciones: G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4 y G.984.5, aunque posteriormente se han editado dos nuevas recomendaciones: G.984.6 y G.984.7.

“Esta serie de recomendaciones describen las técnicas para compartir un medio común (fibra óptica) por varios usuarios, encapsular la información y gestionar los elementos de red, entre otros aspectos” (García, 2014). Además que definen las características de los equipos desarrollados para dar sustento a la tecnología GPON.

1.5.2.1. ITU-T G.984.1 GPON: Características Generales

La recomendación (ITU-T G.984.1, 2008), de acuerdo con los requisitos de los proveedores de servicio, presenta las características generales de los sistemas GPON. Entre las principales características técnicas expuestas en la normativa tenemos: Arquitectura de la red, tipos de interfaz (servicio y usuario), tipos de servicio, alcance lógico y físico, tasa de transmisión y recepción, relación de división, entre otras.

1.5.2.2. ITU-T G.984.2 GPON: Especificación de Capa Dependiente de Medios Físicos

La recomendación (ITU-T G.984.2, 2019) detalla una red de óptica capaz de cumplir con los requisitos de ancho de banda de los servicios comerciales y de consumo, tecnología que alcanza tasas de transferencias de datos (simétricas y/o asimétricas) de 2.48 Gbps en sentido downstream y 1.24 y 2.48 Gbps en sentido upstream. Además, se expone requisitos de la capa física y especificaciones de la capa dependiente de los medios físicos (PMD) como: longitud de onda de trabajo, potencias mínimas y máximas de transmisión y recepción de los equipos activos de la red y entre lo más importante se describen varias clases presupuestos ópticos.

1.5.2.3. ITU-T G.984.3 GPON: Especificación de Capa de Convergencia de Transmisión

En la recomendación (ITU-T G.984.3, 2014) se describe la capa de convergencia de transmisión de GPON, un conjunto de redes de acceso que pueden proporcionar distintos servicios de banda ancha y estrecha. Esta normativa comprende las siguientes especificaciones:

- Estructura de subcapas de convergencia de transmisión GPON (GTC).
- Operaciones, administración y mantenimiento (OAM).
- Mecanismo TDMA (Time Division Multiple Access) ascendente.
- Fundamento y mecanismo de asignación dinámica de ancho de banda ascendente.
- Método de activación de la ONU.
- Corrección de errores: FEC (Forward Error Correction).
- Sistema de encriptación AES.

1.5.2.4. *ITU-T G.984.4 GPON: Especificación de Interfaz de Control y Gestión de ONT*

En la recomendación (ITU-T G.984.4, 2008) se especifica la interfaz de control y gestión (OMCI) del ONT para los sistemas GPON. Primero se detalla las entidades gestionadas de una base de información de gestión (MIB) ajena al protocolo de interoperabilidad entre OLT y ONT, también se describe de manera minuciosa el canal, protocolo y mensajes de gestión y control del ONT.

1.5.2.5. *ITU-T G.984.5 GPON: Mejoramiento de Banda*

La recomendación (ITU-T G.984.5, 2014) expone una gama de longitudes de onda que han sido reservadas para poder añadir en futuras redes PON nuevas señales de servicios de banda ancha, los cuales se sobrepondrán mediante la técnica de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) para aprovechar al máximo la capacidad de las ODNs.

1.5.3. ***Parámetros técnicos de una red GPON***

Tras el estudio de la tecnología GPON se presenta la tabla 5-1 a manera de resumen de la serie de recomendaciones IUT-T G.984.X

Tabla 5-1: Parámetros técnicos de una red GPON

| Estándar ITU-T G984.X | | | |
|------------------------------|---|---|---|
| IUT-T G.984.1 | Características Generales | Arquitectura de la red Alcance lógico y físico | Retardo transferencia de señal Relación de división |
| IUT-T G.984.2 | Capa dependiente de medios físicos (PDM) | Tasa de transmisión de datos Método de Transmisión Código de línea Longitud de onda de trabajo Rango de atenuación de ODF | Potencia de transmisión de OLT y ONT Sensibilidad de recepción de OLT y ONT Sobrecarga de OLT y ONT |
| IUT-T G.984.3 | Capa de convergencia de transmisión | Sub capas GTC Seguridad: AES Corrección de errores: FEC | Ancho de banda dinámico Operaciones, administración y mantenimiento (OAM) |
| IUT-T G.984.4 | Interfaz de control y gestión de ONT (OMCI) | Interoperabilidad entre OLT y ONT. Protocolo de gestión y control de la ONT: GEM | |
| IUT-T G.984.5 | Mejoramiento de banda. | Longitudes de onda reservadas para las señales de servicios adicionales utilizando WDM | |

Fuente: Estándar ITU-T G.984.X

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

También se presenta las tablas 6-1 y 7-1 donde se detalla de manera más específica los parámetros técnicos de las recomendaciones ITU-T G:984.1 y G.984.2 respectivamente. Estos parámetros de red son los más importantes a considerar para el diseño, implementación y gestión de cualquier red GPON.

Tabla 6-1: GPON: Características Generales

| ITU-T G.984.1 GPON: Características Generales | |
|--|----------------------|
| Arquitectura de la red | FTTH, FTTB/C, FTTCab |
| Alcance lógico | 60 km |
| Alcance físico | 10 - 20 km |
| Retardo transferencia de señal | 1,5 ms |
| Relación de división | 1:64 y 1:128 |

Fuente: (ITU-T G.984.1, 2008)

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Tabla 7-1: GPON: Especificación de capa PMD

| ITU-T G.984.2 GPON: Especificación de capa PMD | |
|--|--|
| Tasa de transmisión de datos | Upstream: 1,244 Gbps / 2,488 Gbps Downstream: 2,488 Gbps |
| Método de Transmisión | WDM |
| Código de línea | NRZ |
| Longitud de onda (λ) de trabajo | Upstream: 1260-1360 nm. Downstream: 1480-1500 nm |
| Rango de atenuación de ODN | Clase A: 5-20 dB Clase B: 10-25 dB Clase C: 15-30 dB Clase B+: 13-28 dB Clase C+: 17-32 dB |
| Potencia media de transmisión (Clase B+) | OLT: 1.5-5 dBm ONT: 0.5-5 dBm |
| Sensibilidad de recepción mínima (Clase B+) | OLT: -28 dBm ONT: -27 dBm |
| Potencia óptica de sobrecarga mínima (Clase B+) | OLT: -8 dBm ONT: -8 dBm |
| Margen de seguridad | 3-4 dB |

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

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

1.6. Infraestructura de una red FTTH GPON

Una red GPON cuenta con los mismos elementos de una red óptica pasiva (PON), como se muestra en la figura 9-1 consiste principalmente en un Terminal de Línea Óptico (OLT) situado en una Oficina Central interconectado por medio de una Red de Distribución Óptica (ODN) hacia un Terminal de Red Óptico (ONT). EL OLT y ONT son los únicos elementos activos de la red GPON, mientras que la ODN está conformado en su totalidad por elementos pasivos.

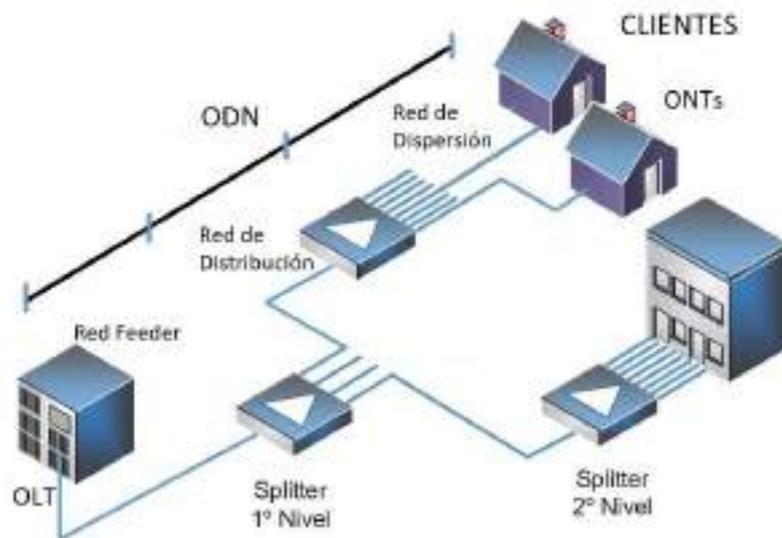


Figura 9-1: Esquema de una red FTTH-GPON

Fuente: López, Eduardo; 2017.

1.6.1. OLT (Optical Line Terminal)

El terminal de línea óptica (OLT) es un elemento activo de la red GPON que se encuentra generalmente en la central del proveedor, cuenta con diversos puertos a partir de los cuales los hilos de fibra óptica se desplegarán hacia los usuarios. El equipo OLT se encarga de direccionar el tráfico destinado o proveniente de los usuarios realizando funciones de router para proveer los servicios solicitados, además que actúa de puente posibilitando el intercambio de tráfico de datos con redes externas. La capacidad del OLT varía dependiendo la marca o modelo pero acostumbra a tener suficiente capacidad para proveer un servicio a cientos o miles de usuarios (Marchukov, 2011, p.11).

Algunas de las funciones principales del OLT son:

- Desempeñar funciones de control en la ODN: control de las potencias emitidas y recibidas, corrección de errores e interleaving.
- Coordinar la multiplexación de los canales ascendente y descendente.



Figura 10-1: Equipo OLT ZTE

Fuente: Alibaba; 2020.

1.6.2. ODN (Optical Distribution Network)

La ODN es un conjunto de elementos pasivos de la red que se encarga de interconectar los equipos ONTs de los usuarios mediante fibra óptica con el equipo OLT del proveedor ubicado en la central. La ODN está conformada por tres segmentos de red feeder, distribución y dispersión los cuales pueden ser instalados en forma aérea o subterránea como se aprecia en la figura 11-1.

- Red Feeder: segmento de cable de fibra óptica que inicia desde el equipo OLT hasta el 1° nivel de splitter que se puede encontrar generalmente en un armario o caja de distribución FDH, FDB o incluso en una manga de empalme.
- Red de Distribución: segmento de cable de fibra óptica que inicia desde el 1° nivel de splitter ubicado en un armario de distribución FDH hasta el 2° nivel de splitter ubicado en una caja de distribución NAP
- Red de Dispersión: segmento de cable de fibra óptica que inicia desde el 2° nivel de splitter ubicado en una caja de distribución NAP hasta el equipo ONT del cliente.

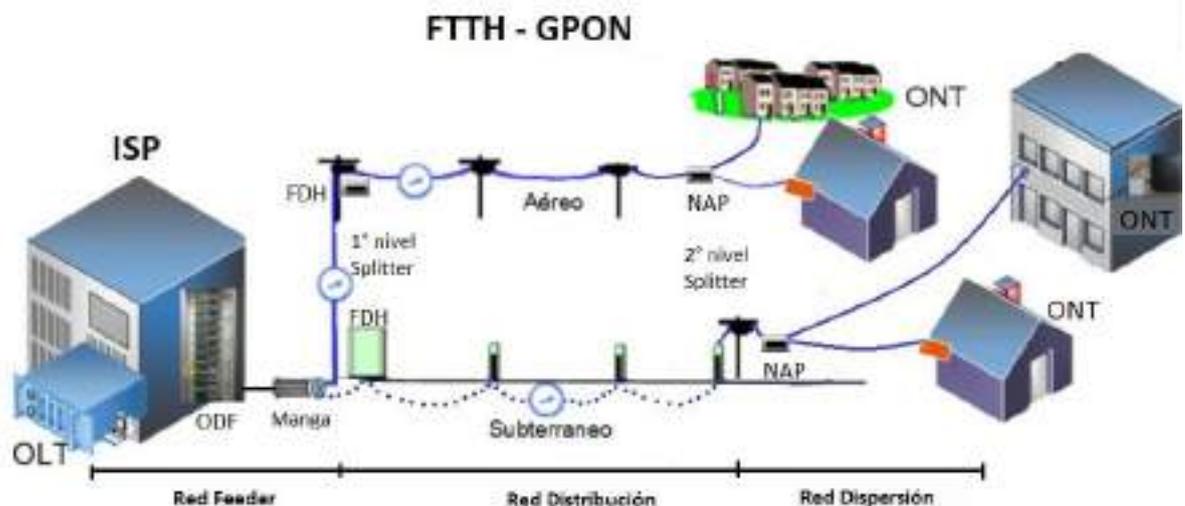


Figura 11-1: Infraestructura de una red FTTH-GPON

Fuente: López, Eduardo; 2017.

Realizado por: Milton Tenesaca; 2020.

Según la recomendación ITU-T G.983.1 la ODN comprende los siguientes elementos ópticos pasivos que están distribuidos a lo largo de todo el trayecto de la ODN. Estos elementos provocan atenuación de la señal óptica que viaja a través de la red.

- Fibras y cables ópticos
- Atenuadores ópticos pasivos
- Divisores ópticos (Splitters)

- Conectores ópticos
- Empalmes / fusiones

Sin embargo para la implementación de una red FTTH se necesita de más instrumentos o herramientas que permitan instalar, utilizar, añadir, cambiar o incluso dar mantenimiento a los elementos ópticos pasivos de la red, entre los cuales tenemos los siguientes:

- ODF (Optical Distribution Frame)
- Manga de empalme
- FDH (Fiber Distribution Hub)
- NAP (Network Access Point)
- Roseta óptica
- Herrajes

1.6.3. Elementos ópticos pasivos de la ODN.

1.6.3.1. Cables de Fibra Óptica

Como se mencionó anteriormente para el despliegue del cable de fibra óptica se tienen dos opciones principales: tendido aéreo o mediante canales subterráneos. La empresa MaxxNet siempre ha optado por el tendido aéreo de fibra óptica debido a la ventaja que representa la existencia de postes a lo largo del trayecto de la red.

La fibra óptica cuenta con distintos estándares de construcción los cuales difieren de la atenuación de la señal óptica (perdida intrínseca) y atenuación por macro y micro curvaturas (perdidas extrínsecas). Cada estándar debe ser considerado para la aplicación o escenario en la que se vaya a utilizar (Vega, 2017).

Las normas que recomienda la ITU-T para tendido aéreo y construcción de fibra óptica son:

ITU-T Rec. L.12 Empalmes de fibra óptica

ITU-T Rec. L.26 Cables de fibra óptica para aplicaciones aéreas.

ITU-T Rec. G.652 Características de un cable de fibra óptica monomodo.

La fibra ITU-T G.652 es la fibra mayormente desplegada en instalaciones de redes ópticas, la cual se optimizó originalmente para su uso en la región de longitud de onda de 1310 nm, pero también se puede usar en la región de 1550 nm. Esta fibra se la puede utilizar tanto para transmisiones digitales como analógicas (ITU-T G.652, 2016).

Tabla 8-1: Características de fibra óptica

| Estándar ITU-T G.652 | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|--------------|------------|---------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|
| Atributo/Variación | G.652A | | G.652B | | G.652C | | G.652D | |
| Atenuación | 1310 nm | 0.5 dB/km | 1310 nm | 0.4 dB/km | 1310- 1625 nm | 0.4 dB/km | 1310- 1625 nm | 0.4 dB/km |
| | 1550 nm | 0.4 dB/km | 1550 nm | 0.35 dB/km | 1383 nm | 0.4 dB/km | 1383 nm | 0.4 dB/km |
| | | | 1625 nm | 0.4 dB/km | 1550 nm | 0.3 dB/km | 1550 nm | 0.3 dB/km |
| Macrocurvatura | 1550 nm | 0.1 dB | 1625 nm | 0.1 dB | 1625 nm | 0.1 dB | 1625 nm | 0.1 dB |

Fuente: (Vega, 2017; ITU-T G.652, 2016)

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

El cable óptico para la red feeder, distribución debe cumplir las características para que pueda ser empleado en redes GPON. El cable debe ser del tipo monomodo (SM) que cumple con las recomendaciones de la ITU –T G652.D expuestas en la tabla 8-1.

De igual manera existen varios tipos de cables de fibra óptica dependiendo el número de hilos que posea, la elección del tipo de fibra dependerá del segmento de la red en el que se vaya a instalar. A continuación en la tabla 9-1 se resume los tipos de cable de fibra óptica de acuerdo al número de hilos, distancia máxima del rollo de cable (carrete) y en que segmento de red se va a utilizar.

Tabla 9-1: Cables fibra óptica

| Tipo de cable | Numero de Hilos | Distancia (m) | Aplicación |
|-----------------|-----------------|---------------|---------------------|
| OFC | G652D 288H | 4000 | Red Feeder |
| OFC | G652D 144H | 4000 | Red Feeder |
| OFC | G652D 96H | 4000 | Red de Distribución |
| OFC/ADSS | G652D 48H | 4000 | Red de Distribución |
| OFC/ADSS | G652D 24H | 4000 | Red de Distribución |
| OFC/ADSS | G652D 12H | 4000 | Red de Distribución |
| OFC/ADSS | G652D 6H | 4000 | Red de Distribución |
| RIZER | G657A1 24/48H | 550 | Red de Dispersión |
| OFC/ADSS | G657A1 2/4H | 550 | Red de Dispersión |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Un ejemplo de un cable de fibra óptica ADSS de 48 hilos se muestra en la figura 12-1.



Figura 12-1: Cable De Fibra Óptica ADSS 48 Hilos

Fuente: QTFTTH; 2020.

Debido a que un cable de fibra óptica puedes poseer una gran cantidad de hilos se requiere de un estándar para su correcta identificación y manipulación, por lo que los cables de fibra óptica deben cumplir el estándar TIA- 598 que estandariza el código de colores para 12 hilos de fibra óptica como se observa en la figura 13-1. Del mismo modo el color de un hilo puede estar repetido pero en un distinto grupo o buffer. Un buffer es un grupo de 12 hilos de fibra óptica.

| Posición | Colores |
|----------|-----------------|
| 1 | Azul |
| 2 | Anaranjado |
| 3 | Verde |
| 4 | Café |
| 5 | Plateado (Gris) |
| 6 | Blanco |
| 7 | Rojo |
| 8 | Negro |
| 9 | Amarillo |
| 10 | Violeta |
| 11 | Rosa (Rosado) |
| 12 | Aqua (Celeste) |

Figura 13-1: Código de colores de fibra óptica (TIA-598)

Fuente: EMTT; 2020.

1.6.3.2. *Splitters (divisores)*

El divisor óptico o splitter es un elemento óptico pasivo que dividen físicamente el núcleo de un hilo fibra óptica para generar múltiples salidas, mediante una relación división 1:N, es decir mediante el splitter se puede obtener N salidas a partir de un solo hilo de fibra, donde N= 2, 4, 8, 16, 32, 64 y 128 (Tenecora, 2019, p.56).

Los splitters pueden utilizarse en cualquier sección de la ODN, aunque generalmente se instala al final del segmento feeder en los armarios distribuidores FDH, también se instalan en el segmento de la red de distribución, específicamente en las cajas NAPs. La relación de división 1:N del splitter a utilizar dependerá del diseño de la ODN para atender la demanda de usuarios (Tenecora, 2019, p.56).

Existen dos tipos, splitters para fusión y conectorizados y se utilizan dependiendo la aplicación que se les vaya a dar, por lo general los splitters para fusión se utilizan en las cajas FDHs debido a que solo permiten la extensión y división de la red de fibra. En cambio en las cajas NAPs se utilizan los splitters conectorizados ya que funcionan como puertos de acceso para los clientes. A continuación se muestra los 2 tipos de splitters.

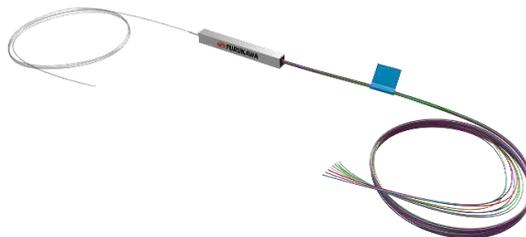


Figura 14-1: Splitter 1:8 para fusión

Fuente: OptyTECH; 2020.



Figura 15-1: Splitter 1:8 conectorizado

Fuente: OptyTECH; 2020.

Si señal óptica ingresa a un splitter, este mantendrá en sus salidas la misma señal óptica pero con una potencia reducida, dependiendo de la relación de división que el splitter tenga. Los splitters son los elementos ópticos pasivos que más atenuación provocan en el enlace, afectando el presupuesto óptico, por tal razón es fundamental la planeación y ubicación de estos. La cantidad de splitters requeridos en la red, se calculará estimando la cantidad de usuarios y la distancia a la que se encuentren del OLT, considerando implementar uno o más niveles de splitters con diferente relación de división (Valle, 2015, p.37).

A continuación en la tabla 10-1 se muestra las combinaciones posibles para 2 niveles de splitters para una relación de división de hasta 1:128 y en la tabla 11-1 los valores típicos de atenuación por inserción de splitters ópticos de acuerdo con su relación de división:

Tabla 10-1: Combinación para 2 niveles de splitter

| 1° Nivel de Splitter | 2° Nivel de Splitter |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1:2 | 1:64 |
| 1:4 | 1:32 |
| 1:8 | 1:16 |
| 1:16 | 1:8 |
| 1:32 | 1:4 |
| 1:64 | 1:2 |

Fuente: (Trejo, 2016, p.90)

Tabla 11-1: Atenuación de splitter óptico

| Relación de división | Atenuación Mínima | Atenuación Máxima |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1:2 | 2,8 dB | 3,8 dB |
| 1:4 | 5,6 dB | 7,1 dB |
| 1:8 | 8,2 dB | 10,5 dB |
| 1:16 | 10,8 dB | 13,7 dB |
| 1:32 | 13,6 dB | 17,1 dB |
| 1:64 | 16,2 dB | 20,3 dB |

Fuente: (ITU-T G.671, 2019)

1.6.3.3. Conectores ópticos

Un conector de fibra óptica es un elemento óptico pasivo de la red que proporciona un método de conexión entre 2 hilos de fibra ópticas y son empleados en ubicaciones de la red que necesitan flexibilidad para configuraciones de red y realización de mediaciones al conectar en instrumentos de prueba. La señal óptica que atraviesa uno o varios conectores ópticos se ve afectada por atenuación y cierta pérdida de retorno de la señal (Vega, 2017, pp.60-61).

Existen varios tipos de conectores, las siglas SC (Suscriptor Connector), LC (Little Connector), FC (Ferrule Connector) y ST (Straight Tip) corresponden a los tipos de conector óptico más comunes en aplicaciones FTTH y en redes de datos, observar figura 16-1. En cuanto a la nomenclatura PC (Physical Contact), UPC (Ultra Physical Contact) y APC (Angled Physical Contact) son siglas que se refieren al tipo de pulido del terminal óptico (ferrule) que hace posible el paso de pulsos de luz láser entre dos fibras ópticas (PROMAX Electronica, 2019), observar figura 17-1.

Así, por ejemplo, un típico latiguillo de FTTH terminado en SC/APC se refiere a un conector SC que tiene un pulido APC

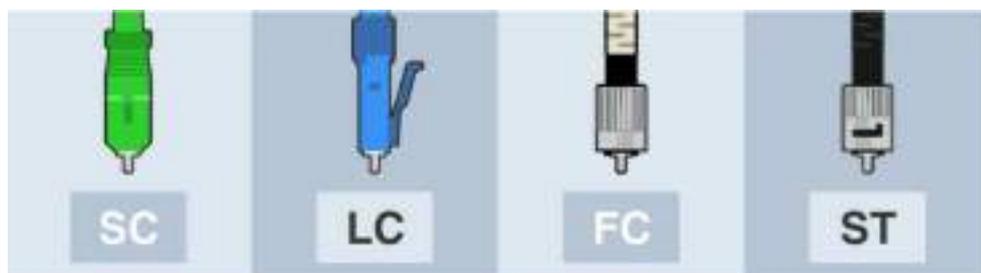


Figura 16-1: Tipos de conectores.

Fuente: PROMAX Electronica; 2020.

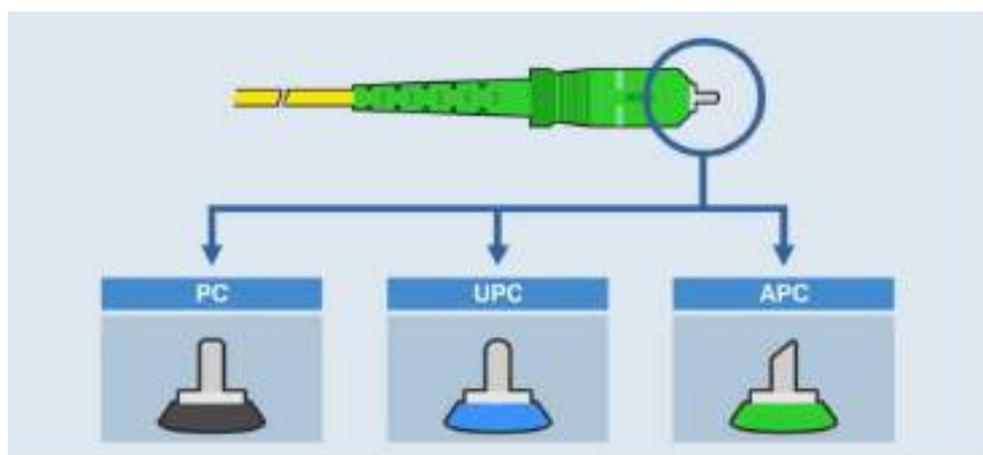


Figura 17-1: Tipos de pulidos.

Fuente: PROMAX Electronica; 2020.

Como se mencionó los conectores ópticos son elementos pasivos de la red que provocan atenuación de la señal óptica, a continuación en la tabla 12-1 se especifican los valores de pérdida por inserción de los conectores más utilizado en aplicaciones de redes FTTH.

Tabla 12-1: Atenuación por inserción conectores

| Tipo de Conector | Atenuación |
|-------------------------|-------------------|
| SC | 0,25 dB |
| LC | 0,10 dB |
| FC | 0,30 dB |
| ST | 0,25 dB |

Fuente: (PROMAX Electronica, 2019)

1.6.3.4. *Empalmes / Fusiones*

Los empalmes o fusiones cumplen con la función de enlace ya sea entre tramos o terminaciones de hilos de fibra óptica. Al igual que los elementos ópticos pasivos descritos anteriormente generan atenuación de la señal óptica que se propaga a través de la red. A continuación en la tabla 13-1 se muestra los valores de atenuación por fusión de fibra óptica (Villacrés & Muriel, 2016).

Tabla 13-1: Atenuación por empalme/fusión

| Característica | Atenuación |
|-----------------------|-------------------|
| Fusión | 0.1 – 0.2 dB |

Fuente: (Villacrés & Muriel, 2016, p.26)

1.6.4. *Elementos de la ODN*

1.6.4.1. *ODF (Optical Distribution Frame)*

Un ODF o Marco de Distribución Óptica es un armario que permiten organizar las conexiones entre los hilos de fibra óptica de los puertos del equipo OLT con los de los hilos del cable fibra óptica feeder que salen de la central del proveedor al exterior. “La interconexión se lo realiza con patchcords de conectores mixtos; SC-APC por un lado y FC-APC en el otro extremo” (Tenecora, 2019, p.55).

El ODF dispone de varios puertos de entrada de cables, y un área de patcheo con adaptadores y/o transiciones, en donde de un extremo se enlaza a la terminación de los hilos de fibra óptica del

cable feeder y por el otro extremo mediante patchcord hacia el equipo OLT. Al interior del ODF se encuentran bandejas de empalme, en donde se organizarán las fusiones de fibra.



Figura 18-1: Distribuidor ODF

Fuente: Aire.ec; 2020.

1.6.4.2. *Manga de empalme*

La manga de empalme es un accesorio que protege cables fibra óptica cuyos hilos han sido fusionados con hilos de otro cable de fibra para extender el alcance de la red o también para proteger cables “sangrados” para derivación de la red, es decir cables a los cuales se les ha roto la cobertura externa de plástico para fusionar ciertos hilos con hilos de otro cable de fibra óptica. Una manga dispone de mecanismos de apertura y cierre herméticos protegiendo a la fibra óptica de factores adversos como la humedad y el polvo (Tenecora, 2019, p.55).

Existen mangas lineales que sirven para extender mediante fusión tramos de fibra óptica o para proteger algún punto del tramo que ha sido reparado por fusión de cierta rotura, también existen mangas de derivación tipo domo que protegen las derivaciones por fusión existentes en los tramos de la fibra óptica (Tenecora, 2019, p.55).



Figura 19-1: Manga de empalme lineal

Fuente: ARPATEL; 2020.



Figura 20-1: Manga de empalme tipo domo

Fuente: WirelessTigre; 2020.

1.6.4.3. *FDH (Fiber Distribution Hub)*

Un FDH o Centro de Distribuidor de Fibra Óptica es una caja o armario metálico que permite la conexión entre los hilos de fibra del cable de red feeder y los hilos de fibra del cable de red de distribución por medio de splitters para fusión, esta división se considera el 1° nivel de splitteo.



Figura 21-1: Armario FDH

Fuente: Direct INDUSTRY; 2020.

Surgen inconvenientes debido bastante espacio que ocupan los armarios FDH, pues en algunas ciudades prohíben utilizar áreas sobre las veredas o sobre postes, aunque se conceden permisos para instalaciones soterradas, las cámaras suelen inundarse y se requeriría un amplio espacio. Es por ello por lo que existen alternativas como un FDH tipo manga de empalme cuyo interior cuenta con área de splitters y panel de distribución similar a un armario (Vega, 2017, pp.80-82).

Otra alternativa que implementan los ISPs en el país es utilizar cajas de distribución similares a las cajas NAP, pero considerando que son FDH debido a que en estas cajas de distribución se realiza en 1° nivel de splitteo de la fibra óptica.

1.6.4.4. *NAP (Network Access Point)*

Las NAPS o Puntos de acceso de Red también son cajas o armarios de distribución pequeños que sirven como punto de conexión entre los hilos de fibra óptica de red de distribución y el hilo de fibra de cada abonado de la red de dispersión. La conexión se lo realiza mediante splitters conectorizados, pues este punto de la red necesita flexibilidad de conexión y la división realizada en la caja NAP es considerada el 2° nivel de splitteo.

“Se consideran puntos de corte para trabajos de operación y mantenimiento. Los puertos de salida de la NAP hacia la red de distribución son puertos SC/APC” (Villacrés & Muriel, 2016, p.24).



Figura 22-1: Caja de Distribución Óptica NAP

Fuente: Alibaba, 2020.

1.6.4.5. *Roseta óptica*

La roseta de abonado para fibra óptica es el punto final de la red de dispersión y por consiguiente de la ODN, permite hacer la terminación y el acondicionamiento del cable de fibra óptica de acometida y se instala junto a la ONT en el domicilio del cliente. en la roseta se realiza la fusión entre un hilo del cable de fibra drop y el pigtail que puede ser APC o UPC (Paguay, 2015, p.69).

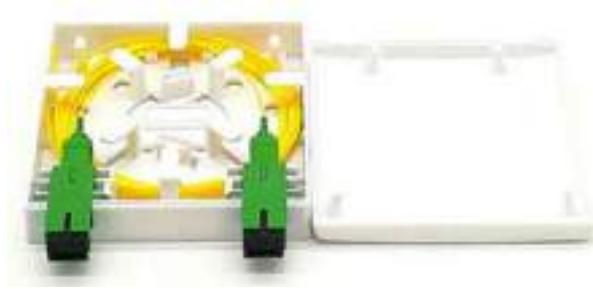


Figura 23-1: Roseta Óptica

Fuente: KOCENT OPTEC LIMITADO; 2020.

1.6.4.6. Herrajes

Los herrajes son piezas de acero galvanizado, cuya principal función es sujetar el cable de fibra óptica de un tendido aéreo al poste, existen varios tipos de herrajes que se usan en conjunto en todo el trayecto de postes de la ODN (Suárez, 2015, pp.26-27):

- Tipo A: Herraje terminal o de retención se utilizan en tramos largos y no lineales, cuando el cable va a dar curva o baja a un armario (FDH, NAP) o mangas de empalme.
- Tipo B: Herraje de paso o suspensión se utilizan en tramos muy cortos y rectos.
- Herraje Brazo Farol: puede medir desde 0,50 a 1,50 m. y se lo utiliza para evadir obstáculos en la ruta de instalación del cable de fibra óptica.
- Herrajes tipo tensor: son piezas de plástico que funcionan como grapas para sujetar al cable y se utiliza en tramos muy cortos (Trujillo, 2015).

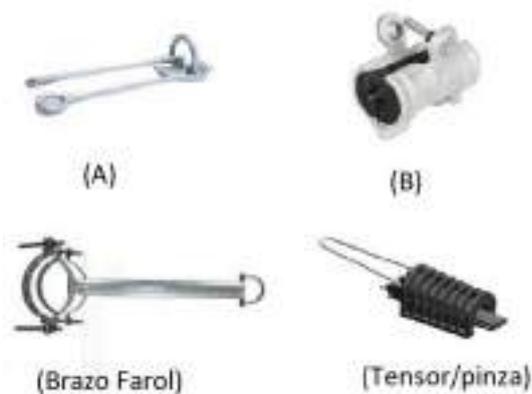


Figura 24-1: Tipos de Herraje

Fuente: KOCENT OPTEC LIMITADO; 2020.

1.6.5. *ONT (Optical Network Terminal)*

La ONT es uno de los dos únicos elementos activos de la red, se encarga de recibir y filtrar el tráfico de datos destinado a un usuario proveniente de un OLT. Además, cumple la función inversa, es decir, encapsula los datos provenientes de un usuario y la envía en dirección al OLT. Generalmente se instalan en los hogares junto a su respectiva roseta óptica (Marchukov, 2011, pp.13-14).



Figura 25-1: Equipo ONT Huawei

Fuente: PlusCompu; 2020.

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Descripción del sector Gatazo perteneciente al Cantón

Como se menciona en el tema del trabajo de titulación, el diseño de la red FTTH con tecnología GPON está enfocado en brindar cobertura en todo el sector de Gatazo, dicho sector se ubica en la zona rural de la parroquia Villa la Unión (Cajabamba) perteneciente al cantón Colta de la provincia de Chimborazo, el sector de Gatazo es extenso debido a que está conformado por varias comunidades que comparten su nombre, entre las principales tenemos Gatazo Elena Zambrano, Gatazo Zambrano, Gatazo Grande y Gatazo Chico (Emanuel, Murunjil, Curiquingue).

A continuación en la figura 1-2 se muestra las comunidades principales del sector Gatazo ubicado en la extensión geográfica de la parroquia Villa la Unión (Cajabamba).

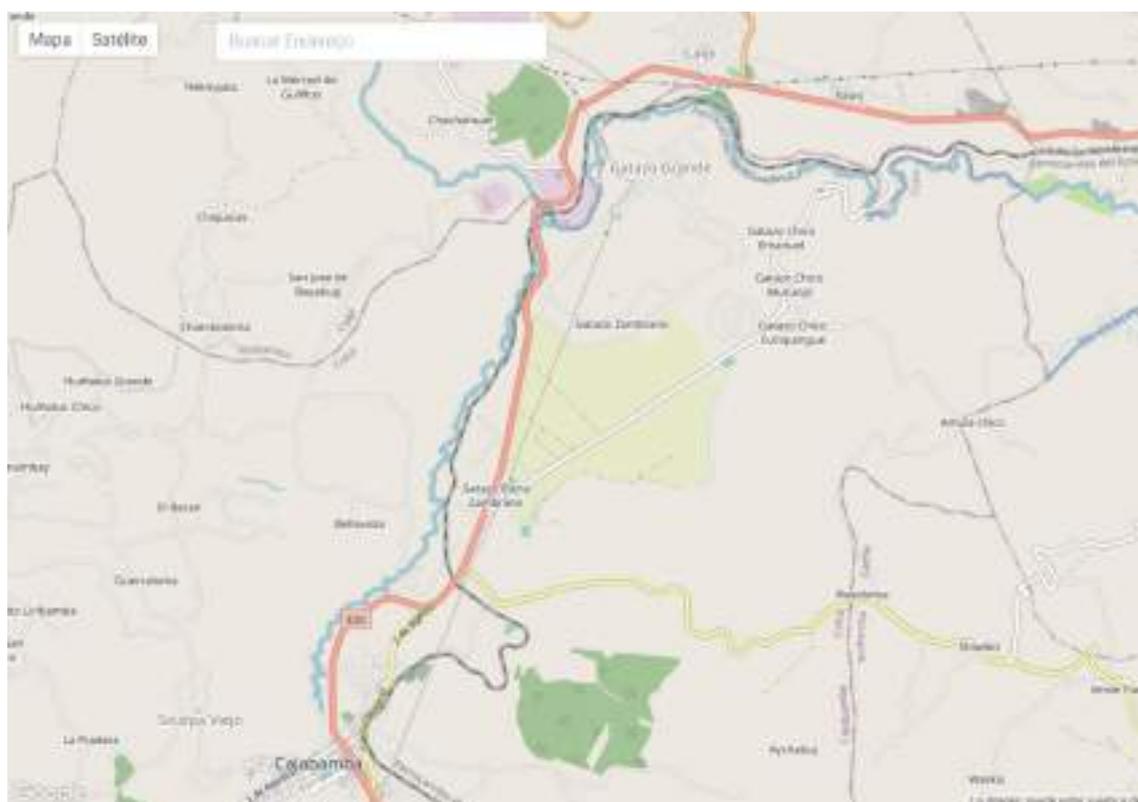


Figura 1-2: Mapa geográfico del sector Gatazo

Fuente: Google Maps; 2020.

La parroquia Villa la Unión (Cajabamba) tiene una extensión aproximada de 40 km² y de acuerdo con los datos del INEC del Censo de población y vivienda del año 2010, la periferia de la parroquia Villa la Unión (Cajabamba) donde se ubican las comunidades de Gatazo cuenta aproximadamente con 3393 habitantes y 1391 viviendas que se encuentran distribuidos de manera no homogénea a lo largo de la superficie de la parroquia (INEC, 2010).

2.2. Estudio de Demanda

El estudio de demanda se realizó mediante encuestas, un método tradicional de recopilación de datos que permitió segmentar y calcular el tamaño actual del mercado, además de determinar la viabilidad económica de implementación de la red FTTH para proveer de servicio de internet en el sector. Las encuestas se realizaron a los ciudadanos residentes del sector Gatazo, tanto en domicilios, locales comerciales y talleres existentes en la zona.

2.2.1. *Tamaño de la muestra poblacional*

El estudio de demanda se delimito a todo el sector de Gatazo y para determinar el tamaño de la muestra poblacional se utilizó la formula del método aleatorio simple:

$$n = \frac{N}{e^2(N-1)+1} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

n= Número de encuestas a realizar

N= Número de viviendas

e = Error muestral con un 95% de confiabilidad.

Valores utilizados

N= 1391 viviendas

e = 0.05

$$n = \frac{N}{e^2(N-1)+1}$$
$$n = \frac{1391}{0.05^2(1391-1)+1}$$
$$n = 310 \text{ encuestas}$$

2.2.2. *Análisis de los resultados obtenidos*

Se realizó una encuesta de 8 preguntas comprensivas para los ciudadanos con las que se pretende confirmar la necesidad de implementar una red FTTH para proveer de servicio de internet en el sector Gatazo. Con los datos recolectados de las 310 encuestas realizadas se procedió a realizar la tabulación de cada pregunta con su respectivo diagrama circular o pastel, como se muestra a continuación.

1. El tipo de conexión que usted dispone hacia Internet es mediante:

Tabla 1-2: Tipo de Conexión a Internet

| Tipo de Conexión a Internet | Nº de respuestas | Porcentaje |
|-----------------------------|------------------|------------|
| Radioenlace | 273 | 88 |
| Cableado (Fibra Óptica) | 15 | 5 |
| Red de telefonía móvil | 0 | 0 |
| Enlace satelital | 0 | 0 |
| No dispone | 22 | 7 |
| Total | 310 | 100 |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

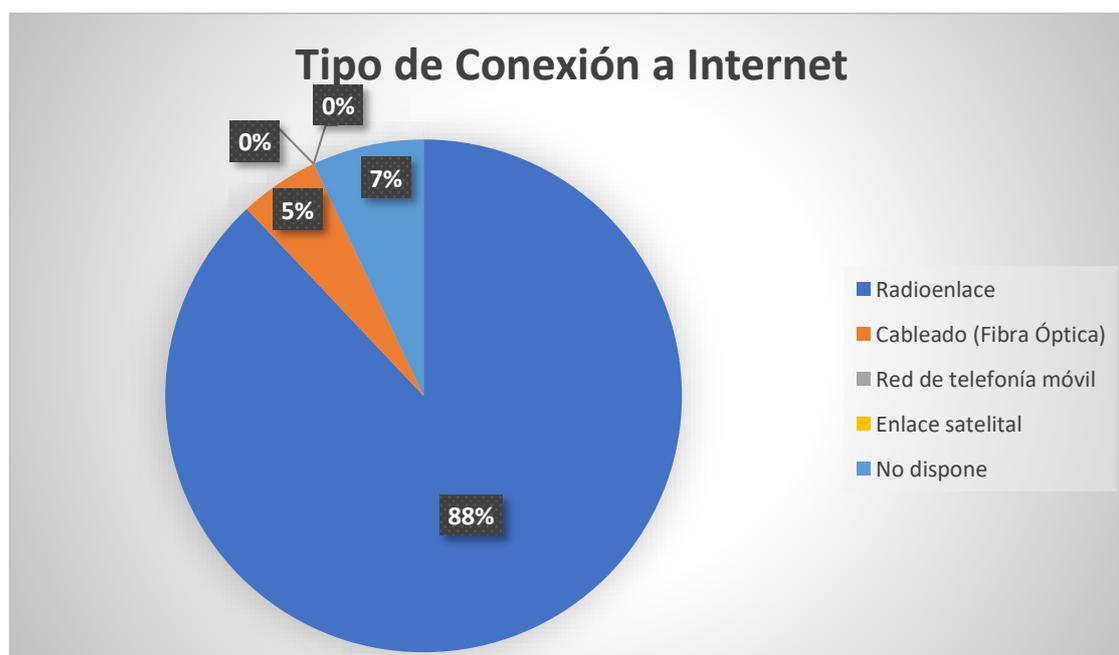


Gráfico 1-2: Tipo de Conexión a Internet

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

De acuerdo al gráfico 1-2 podemos afirmar que con un 88% el principal tipo de conexión hacia internet que tienen los usuarios del sector Gatazo es de manera inalámbrica mediante un radio enlace punto a punto, mientras que la fibra óptica con un 5% es un medio de comunicación muy

escaso, por lo tanto se puede concluir que resultará beneficioso proveer de servicio de internet mediante fibra óptica en el sector.

2. La velocidad (ancho de banda) del servicio de Internet contratado por usted es de:

Tabla 2-2: Ancho de Banda de Internet

| Ancho de Banda de Internet | N° de respuestas | Porcentaje |
|----------------------------|------------------|-------------|
| 2 Mbps simétrico | 44 | 15 |
| 3 Mbps simétrico | 44 | 15 |
| 5 Mbps simétrico o mayor | 22 | 8 |
| Desconoce | 178 | 62 |
| Total | 288 | 100% |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

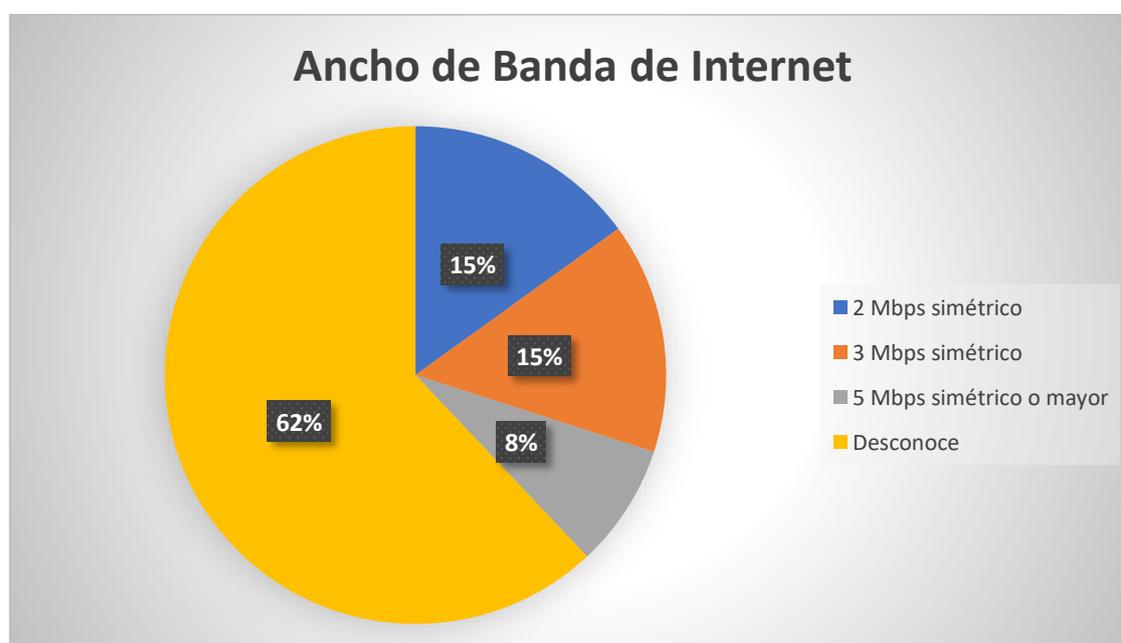


Gráfico 2-2: Ancho de Banda de Internet

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Mediante esta pregunta se llegó a conocer el ancho de banda del servicio de internet contratado por los usuarios del sector Gatazo, de acuerdo al gráfico 2-2 se pudo conocer que el 62% de los usuarios desconoce el ancho de banda contratado de su servicio de internet, mientras que un 15% poseen un ancho de banda de 2 Mbps, otro 15% de 3 Mbps y finalmente un 8% de 5 Mbps o mayor.

3. La frecuencia con la que usted reporta algún tipo de problema de su servicio de Internet es:

Tabla 3-2: Frecuencia de problema de Internet

| Frecuencia de problema de Internet | Nº de respuestas | Porcentaje |
|--|------------------|-------------|
| Muy Frecuente (Más de 5 inconvenientes al mes) | 0 | 0 |
| Frecuente (De 3 a 5 inconvenientes al mes) | 107 | 37 |
| Poco frecuente (1 o 2 inconvenientes al mes) | 115 | 40 |
| Nunca (Ningún inconveniente hasta ahora) | 66 | 23 |
| Total | 288 | 100% |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

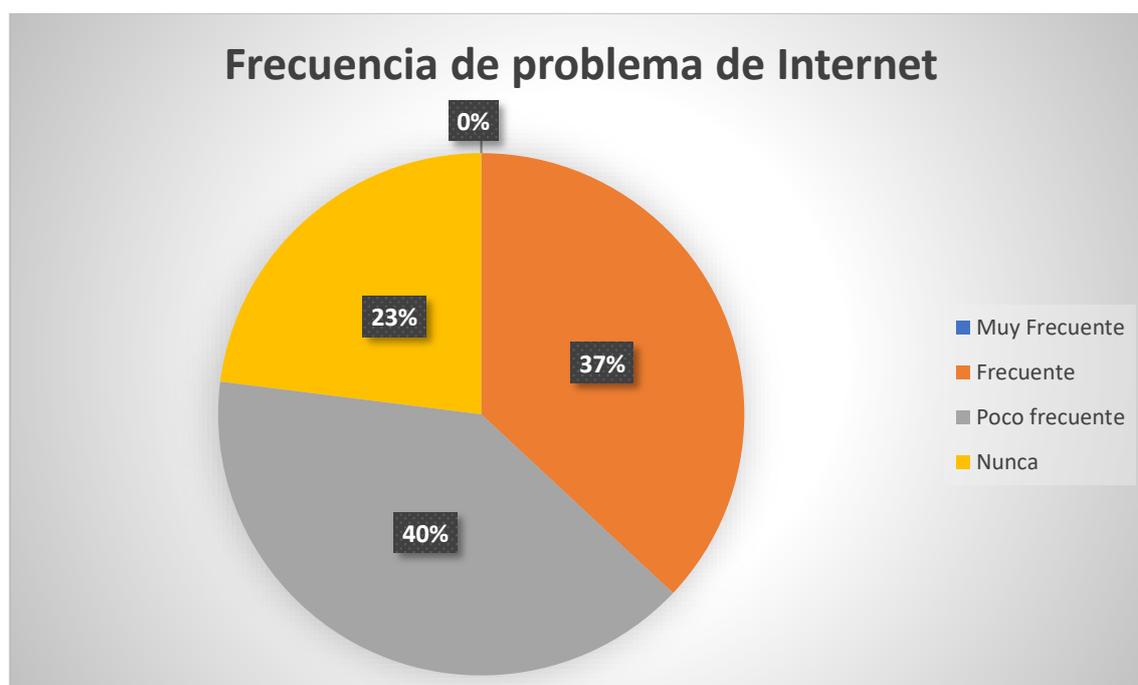


Gráfico 3-2: Frecuencia de problema de Internet

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el gráfico 3-2 se puede observar que el 40% de los usuarios de Internet del sector Gatazo presentan problemas poco frecuentes con su servicio, mientras que el 37% de los usuarios presenta problemas frecuentes y un 23% de los usuarios no presenta problemas en su servicio. De acuerdo con los datos anteriores se pudo concluir que si bien el porcentaje de usuarios con problemas frecuentes (De 3 a 5 inconvenientes al mes) no es el más alto, aun así se debe considerar que sumado al porcentaje de usuarios con problemas poco frecuentes (1 o 2 inconvenientes al mes) se tendría un 77% de usuarios con problemas indistintamente de que cuan frecuente sea la ocurrencia del problema del servicio de internet.

4. El reporte de inconvenientes que usted ha tenido de su servicio de Internet se ha debido a:

Tabla 4-2: Tipo de problema de Internet

| Tipo de problema de Internet | Nº de respuestas | Porcentaje |
|--|------------------|-------------|
| Pérdida de conexión por interferencia o afectación climática | 55 | 19 |
| Capacidad de ancho de banda contratado | 133 | 46 |
| Fallas en las instalaciones internas incluidas el computador | 11 | 4 |
| Desconoce | 89 | 31 |
| Total | 288 | 100% |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

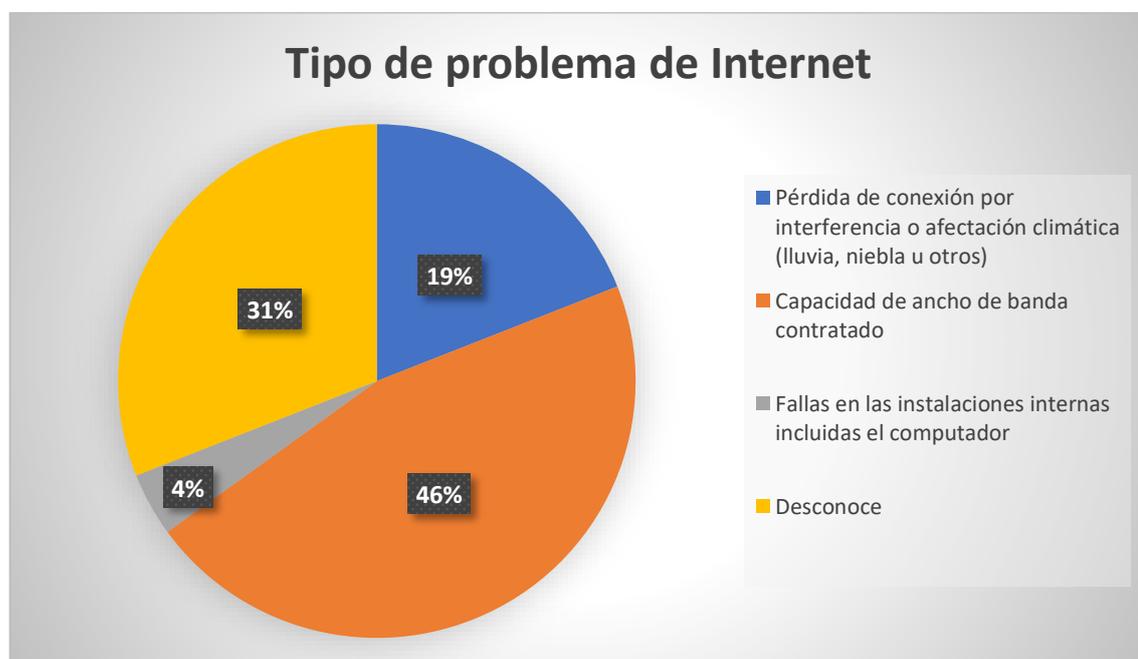


Gráfico 4-2: Tipo de problema de Internet

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Mediante esta pregunta se identificó el principal tipo problema que presentan los usuarios de servicio internet del sector Gatazo, como se aprecia en el gráfico 4-2 la capacidad de ancho de banda contratado es el problema que genera conflicto en el servicio al 46% de los usuarios, mientras que 31% de los usuarios desconoce el tipo de problema que se dan en su servicio. El 19% de usuarios presenta problemas de pérdida de conexión debido a interferencia o afectación climática, que al igual que el ancho de banda limitado son desventajas que existen en un servicio mediante radioenlace.

5. De acuerdo con la frecuencia con la que usted reporta algún tipo de problema de su servicio de Internet ¿Qué grado de satisfacción tiene hacia su servicio de Internet?

Tabla 5-2: Grado de satisfacción de Internet

| Grado de Satisfacción de Internet | N° de respuestas | Porcentaje |
|--|-------------------------|-------------------|
| Muy satisfecho | 0 | 0 |
| Satisfecho | 141 | 49 |
| Poco Satisfecho | 138 | 48 |
| Insatisfecho | 9 | 3 |
| Total | 288 | 100% |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

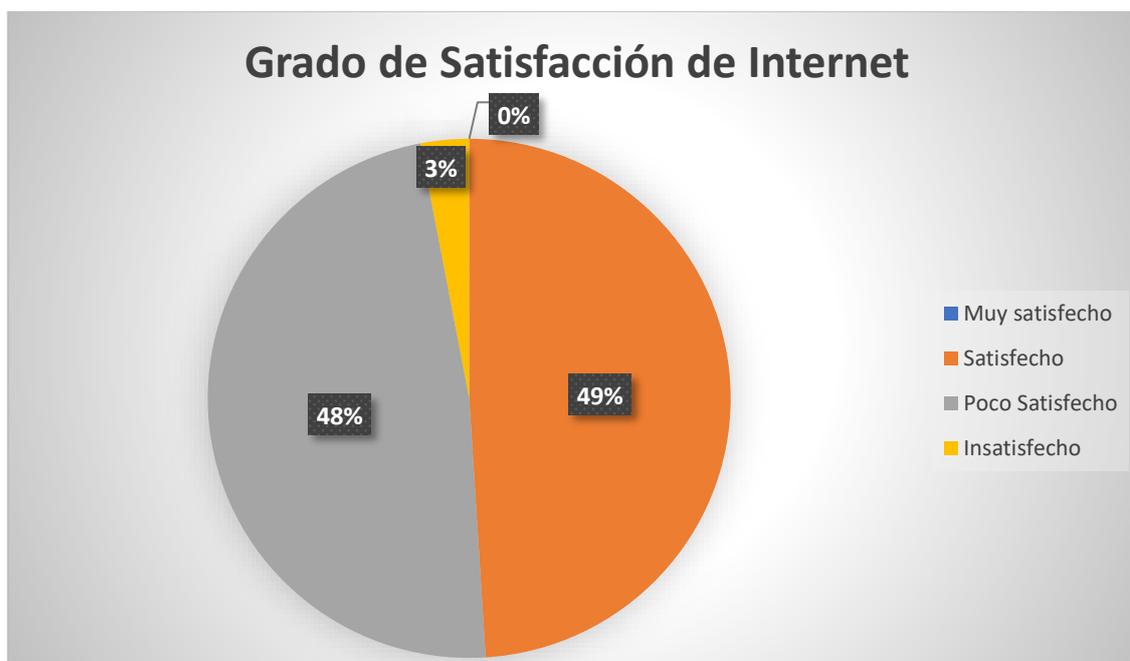


Gráfico 5-2: Grado de Satisfacción de Internet

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En base a la respuesta de la pregunta 3, donde se determinó la frecuencia con la que los usuarios reporta algún tipo de problema de su servicio de Internet, en esta pregunta se logró determinar el grado de satisfacción de los usuarios hacia su servicio de internet en el sector Gatazo. Obteniendo los resultados del gráfico 5-2, en donde el 49% de usuarios están satisfechos con su internet, no obstante el 48% de los usuarios está poco satisfecho y el 3% de insatisfechos, estos dos últimos porcentajes juntos nos dan un 51% de usuarios que no están satisfechos con su servicio de internet.

Tras este análisis se identificó un factor determinante como lo es la demanda no satisfecha, a la cual mediante el desarrollo de este proyecto se pretende proveer de un servicio de internet de mejor calidad a la de mayoría posibles usuarios.

6. ¿Conoce usted los beneficios que tiene la fibra óptica para la conexión a Internet?

Tabla 6-2: Beneficios de fibra óptica

| Conocimiento de los beneficios de fibra óptica | Nº de respuestas | Porcentaje |
|--|------------------|-------------|
| Si | 133 | 43 |
| No | 177 | 57 |
| Total | 310 | 100% |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

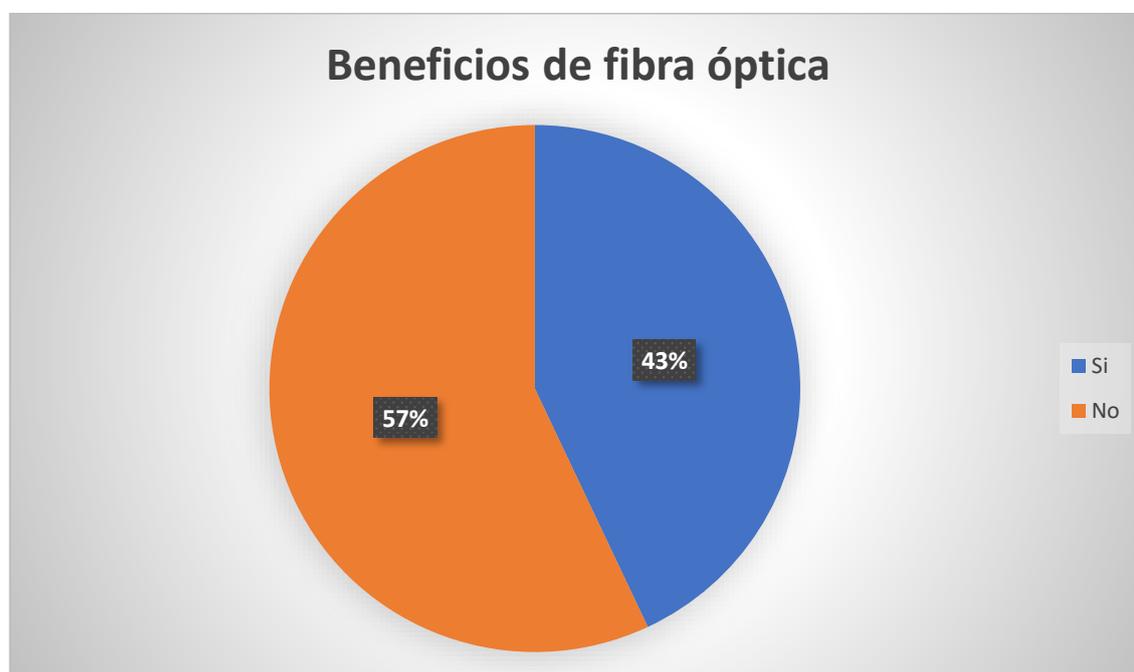


Gráfico 6-2: Beneficios de fibra óptica

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el gráfico 6-2 se observa que el 57% usuarios de servicio de internet en Gatazo no conocen de los beneficios de la fibra óptica para la conexión a internet, aunque el 43% siendo una gran parte del total de usuarios si conoce o a oído hablar de los beneficios que presenta un servicio mediante fibra óptica.

7. ¿Le gustaría disponer de planes de Internet con mayor disponibilidad y velocidad (ancho de banda) mediante fibra óptica?

Tabla 7-2: Planes de Internet con mayor disponibilidad y Ancho de Banda

| Planes de Internet con mayor disponibilidad y Ancho de Banda | N° de respuestas | Porcentaje |
|---|-------------------------|-------------------|
| Si | 277 | 89 |
| No | 33 | 11 |
| Total | 310 | 100% |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

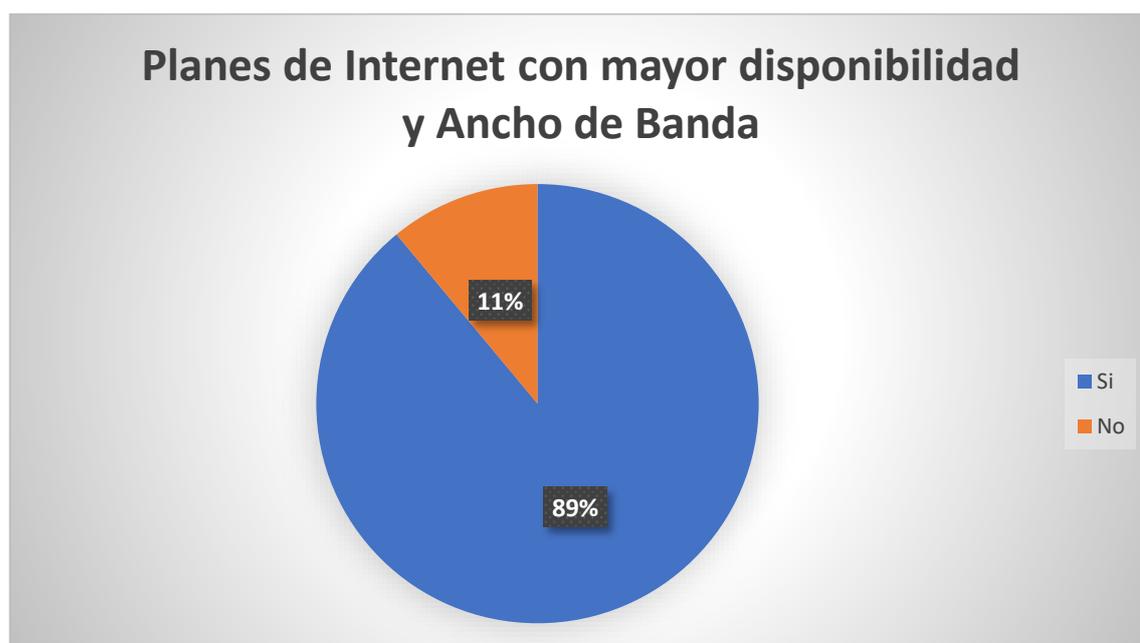


Gráfico 7-2: Planes de Internet con mayor disponibilidad y Ancho de Banda

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

De acuerdo con el gráfico 7-2, como era de esperarse al 89% de los usuarios de servicio de internet en el sector Gatazo les gustaría disponer de planes de internet con mayor disponibilidad y ancho de banda mediante fibra óptica, mientras que un 11% corresponde a usuarios que están satisfechos con su servicio de internet o que no disponen de internet y desconocen los beneficios de la fibra óptica.

8. En un futuro si le ofertaran el servicio de internet, mediante conexión de fibra óptica con planes a partir de 15 Mbps a \$20 en adelante, usted lo contraría?

Tabla 8-2: Contratación de Internet mediante fibra óptica

| Contratación de Internet mediante fibra óptica | N° de respuestas | Porcentaje |
|---|-------------------------|-------------------|
| Si | 166 | 54 |
| No | 144 | 46 |
| Total | 310 | 100% |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

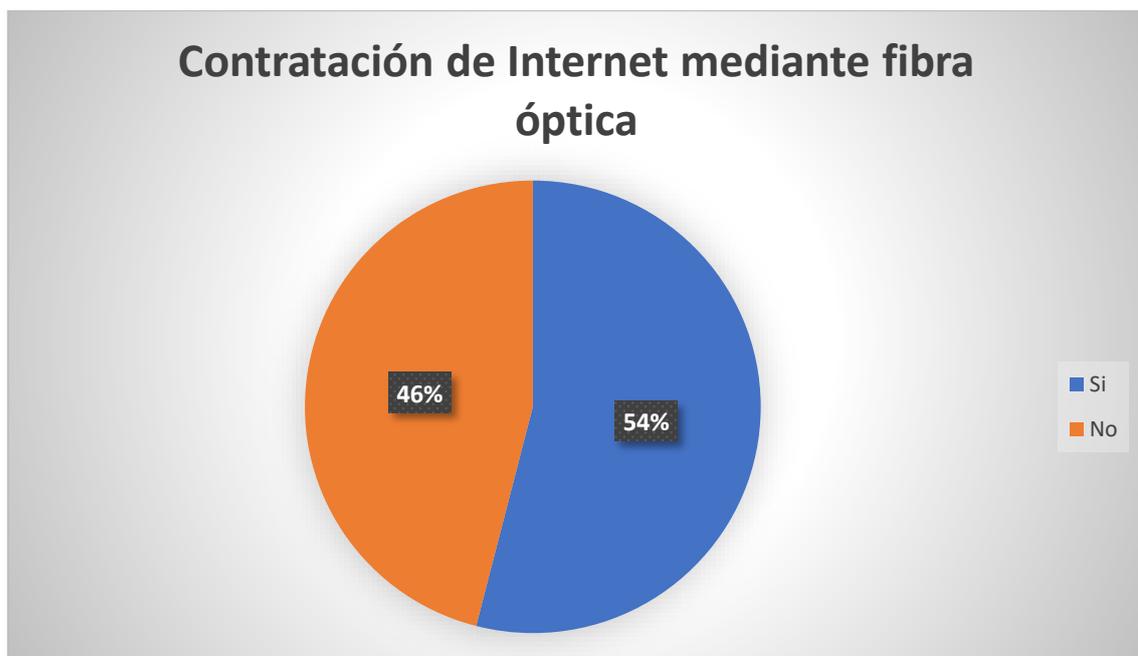


Gráfico 8-2: Contratación de Internet mediante fibra óptica

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

La pregunta final es una de las importantes a tomar en consideración pues trata del objetivo principal del estudio de demanda, de acuerdo con el gráfico 8-2 se aprecia que el 54% del total de usuarios encuestados del sector Gatazo contratarían el servicio de internet mediante conexión de fibra óptica con un ancho de banda de 20 Mbps, si se ofertará a un precio similar al que actualmente paga \$20.

2.3. Estudio de Factibilidad

Como se mencionó en el capítulo anterior existen 2 maneras de despliegue de una red de fibra óptica, aérea y soterrada, a nivel nacional la mayoría de ISPs al igual que MaxxNet Internet realizan el despliegue aéreo de fibra óptica debido a que se puede aprovechar la infraestructura ya desplegada de postes de la red eléctrica del del país para poder llegar a diversos sectores urbanos o incluso rurales.

El estudio de factibilidad de la red propuesta consiste primero en la georreferenciación de postes en el Software Google Earth del posible trayecto considerado en el diseño de la red de fibra óptica mediante la herramienta Geoportel Eléctrico de la EERSA (Empresa Eléctrica Riobamba S.A), la cual es una base de datos georreferenciada de todos los postes de la red eléctrica de la provincia de Chimborazo a la cual se puede acceder mediante el navegador Internet Explorer.

En la figura 2-2 se muestra la red de postes de la parroquia Villa La Unión (Cajabamba) en la Plataforma Web Geoportel Eléctrico de la EERSA, donde se aprecia líneas de diversos colores, cada una representa las subredes postes en el sector de Gatazo.

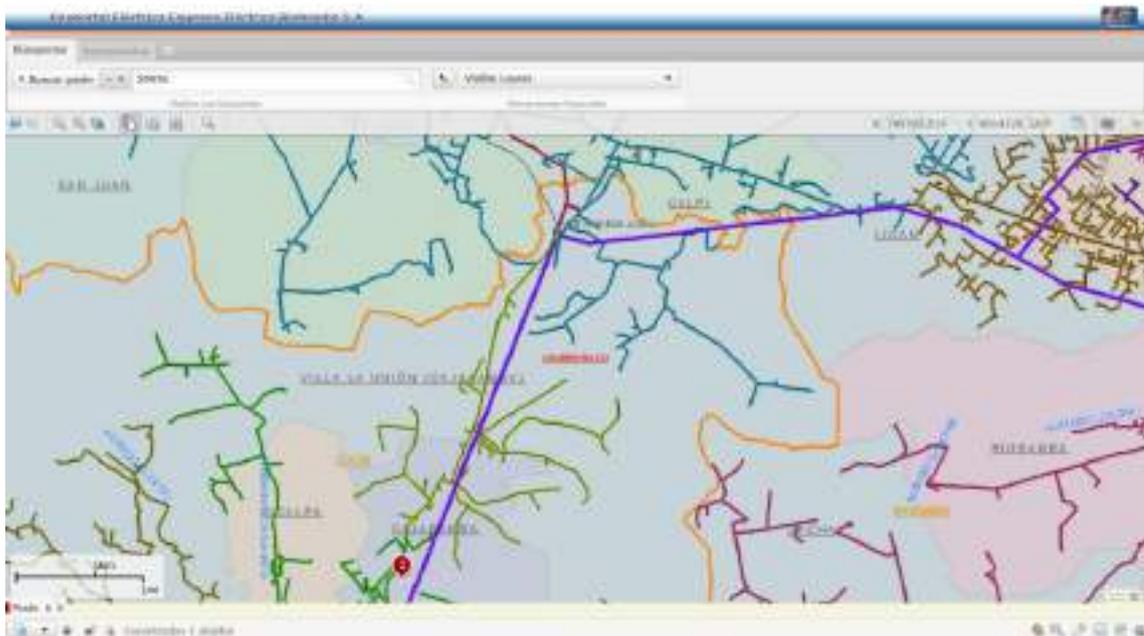


Figura 2-2: Plataforma Web Geoportel Eléctrico de la EERSA

Fuente: EERSA; 2020.

Posterior a eso se realiza un recorrido y verificación de la existencia de postes georreferenciados en software Google Earth de las rutas consideradas en el diseño de la red de fibra óptica (coloquialmente denominado Surbe). En la figura 3-2 se puede observar la representación de los postes georreferenciados de la trayectoria de red feeder en forma de puntos contiguos en el mapa.

Además en este recorrido se identifica los obstáculos o dificultades en el trayecto y se genera soluciones para que despliegue del cable fibra óptica sea de la mejor manera posible y así poder llegar a un determinado lugar de clientes

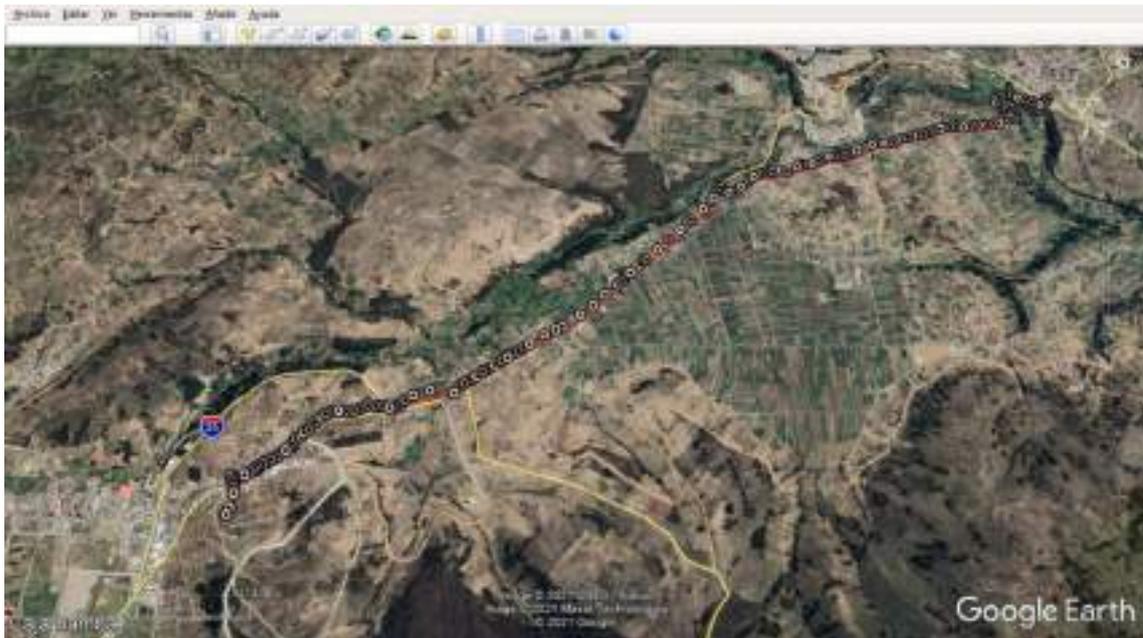


Figura 3-2: Georreferenciación de postes en Google Earth

Fuente: Google Earth; 2020.

Este recorrido y verificación de la existencia de postes principalmente se lo realiza en el trayecto del segmento feeder de la red de fibra óptica, pues es el trayecto más importante, más costoso y de mayores consideraciones de implementación de la red, a partir del cual se realizará el despliegue de los otros segmentos de distribución y dispersión de la red para poder llegar a las diferentes ubicaciones de los clientes. Esto además permitirá determinar el tipo de herraje a utilizar en cada poste para sujetar de manera aérea el cable de fibra óptica del segmento de red feeder.

Este estudio de factibilidad también se lo realiza con el fin de generar un reporte de los postes involucrados en los trayectos de la red, para posteriormente. solicitar ante Empresa Eléctrica de Riobamba S.A un permiso de utilización y alquiler de los postes mencionados en el reporte.

2.4. Requerimientos técnicos de diseño

2.4.1. Arquitectura de la Red

Como se menciona en el capítulo anterior existen diferentes redes FTTX para proporcionar conectividad de banda ancha mediante transmisión por fibra óptica, en el mismo capítulo, en la página 16 se analizó y comparo la arquitectura de cada tipo de red FTTN, FTTC, TFFB y FTTH.

Para el desarrollo de este proyecto se eligió la arquitectura de red FTTH, pues hoy en día el objetivo del ISP MaxxNet Internet es llegar totalmente con fibra óptica hasta los hogares de los clientes, debido a que una red FTTH al ser completamente de fibra óptica permite conectar a múltiples clientes que se encuentran a distancias considerables del nodo, ofreciendo mayor ancho de banda, mayor seguridad de la información, resistencia a las interferencias electromagnéticas, mayor estabilidad, menor degradación de la señal entre otras ventajas frente a los sistemas de comunicación con tecnología xDSL o inalámbrica.

2.4.2. Topología de la Red

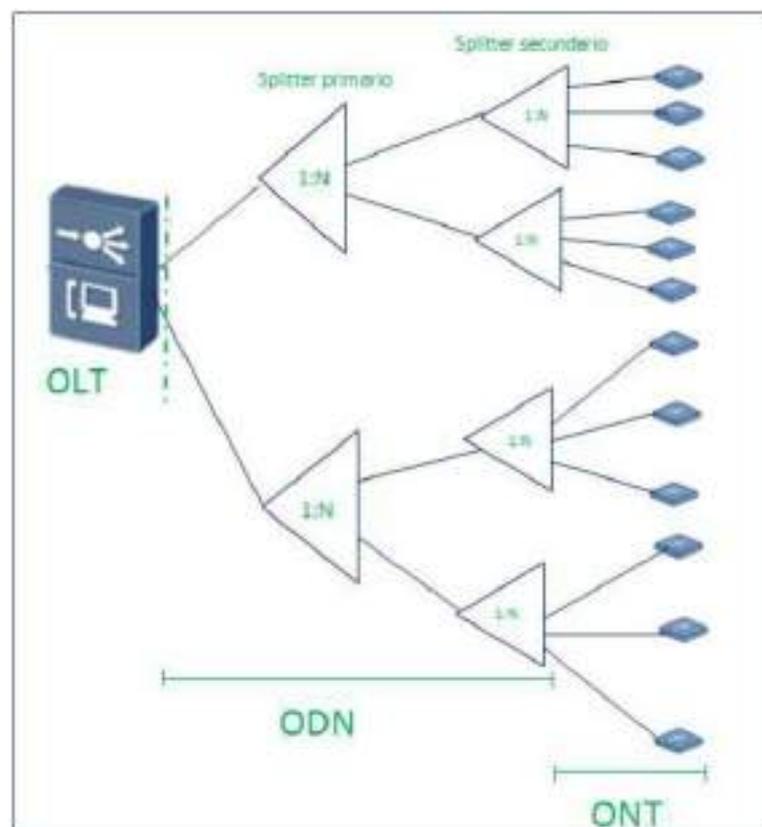


Figura 4-2: Topología de red tipo árbol

Fuente: Cruz, Nataly; 2018.

La topología de red es un aspecto importante a considerar en el diseño de una red FTTH, puesto que indica el tipo de conexión que existirá entre los equipos y dispositivos de la red. Al tratarse de una red óptica para proveer conectividad de banda ancha a gran escala es evidente que el tipo de comunicación existente será punto a multipunto.

Por lo tanto para el desarrollo de este proyecto se utilizó una topología árbol, pues es la topología que mejor se adapta a las características técnicas de diseño de la red propuesta. En la figura 4-2 se muestra la topología árbol a utilizar en la red, parte desde la OLT pasando por la ODN en donde existe ramificaciones tanto en el 1° y 2° nivel de splitter hasta llegar a las ONTs

2.4.3. *Tecnología de Red*

Como se menciona en el capítulo anterior uso de una determinada tecnología para redes pasivas ópticas depende en gran parte de los requerimientos de los usuarios. Para el desarrollo de este proyecto se escogió la tecnología GPON, al ser actualmente la tecnología más implementada con éxito a nivel nacional en lo que refiera a redes FTTH. Esto debido a las varias ventajas que nos ofrece frente a otros estándares, como altas tasas de transferencia de datos hasta 2.5 Gbps y radio de división (splitter) de hasta 1:128, esto quiere decir que un hilo de fibra óptica puede dar servicio a 128 clientes.

La tecnología XGPON sin duda sería una mejor opción debido a que sus características técnicas son superiores a GPON, pero actualmente en el país su implementación es casi nula e implicaría mayor costo frente a implementación de red GPON. Además que el sector Gatazo al que se quiere proveer de cobertura no es tan extenso por lo que una red con tecnología XGPON sería un desperdicio recursos.

2.4.4. *Requerimientos de la Red FTTH-GPON*

Antes de realizar el diseño de la red, se definió todas las características técnicas consideradas para el diseño, de acuerdo con el estudio de la tecnología GPON realizado en el capítulo anterior y tomando en cuenta los requerimientos del estudio de demanda se optó por elegir una red GPON de clase B+, a continuación en la tabla 9-2 se detallan los parámetros de diseño considerados.

Tabla 9-2: Parámetros de diseño de la red GPON clase B+

| Parámetro | Valor |
|---|---|
| Distancia máxima ODN | 20 km |
| Relación de división | 1:64 o 1:128 |
| Longitud de onda (λ) de trabajo | 1310 /1490 nm |
| Rango de atenuación de ODN | Clase B+ [13-28dB] |
| Potencia máxima de transmisión OLT | +5 dBm |
| Potencia máxima de transmisión ONT | +5 dBm |
| Sensibilidad de OLT | -28 dBm |
| Sensibilidad de ONT | -27 dBm |
| Margen de seguridad | 3 dB |
| Niveles de splitter (1° y 2°) | 1:16 o 1:8 |
| Atenuación de splitter 1:8 | 10,5 dB |
| Atenuación de splitter 1:16 | 13,7 dB |
| Atenuación en los puntos de fusión | 0,1 dB |
| Atenuación Conectores | 0,25 dB |
| Atenuación de fibra óptica | Upstream: 1310nm \rightarrow 0,35 dB/km Downstream: 1490nm \rightarrow 0,35dB/km |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

2.4.5. *Software de diseño TOMODAT2*

Para el desarrollo del proyecto se utilizó TOMODAT2, un software propietario en la web (online) y especializado en la documentación y gestión de redes ópticas. TOMODAT2 ha sido diseñado para la gestión completa de una red FTTH, desde el proyecto, pasando por la documentación, control de ejecución de obra y posterior gestión de OLTs y clientes (TOMODAT, 2016).

Según la plataforma TOMODAT, los beneficios principales que ofrece el software son:

- Documentación y planificación estructurada de redes de fibra óptica
- Compartir información de red con su diseñador, importar y exportar archivos KML
- Los usuarios técnicos tienen vista completa de la red. En caso de mantenimiento, las funciones de OTDR encuentran inmediatamente las ubicaciones de las averías, lo que proporciona agilidad a los equipos, minimiza el tiempo de inactividad y aumenta el SLA de la red.

- Los técnicos de campo saben de inmediato qué fibras están en qué caja, qué está activa y qué no, lo que reduce en gran medida el tiempo de activación de los CTO o mantenimiento en la red.
- El sector comercial puede calcular instantáneamente la viabilidad, ver los cuadros de servicio, reservar puertas para los clientes o señalar necesidades de expansión.



Figura 5-2: Software Web TOMODAT2

Fuente: TOMODAT; 2016.

2.5. Diseño de la Red GPON-FTTH

En el presente trabajo de titulación se diseña una red FTTH mediante software TOMODAT2 para el sector de Gatazo pertinente al cantón Colta, el diseño de la red se sustenta bajo los parámetros técnicos de la tecnología GPON clase B+ establecidos en el estándar ITU-T G.984.X. Para un mejor diseño y descripción de la red FTTH-GPON el área de cobertura total se divide en 5 zonas, donde cada zona abarca una principal comunidad de Gatazo como se parecía en la figura 6-2.

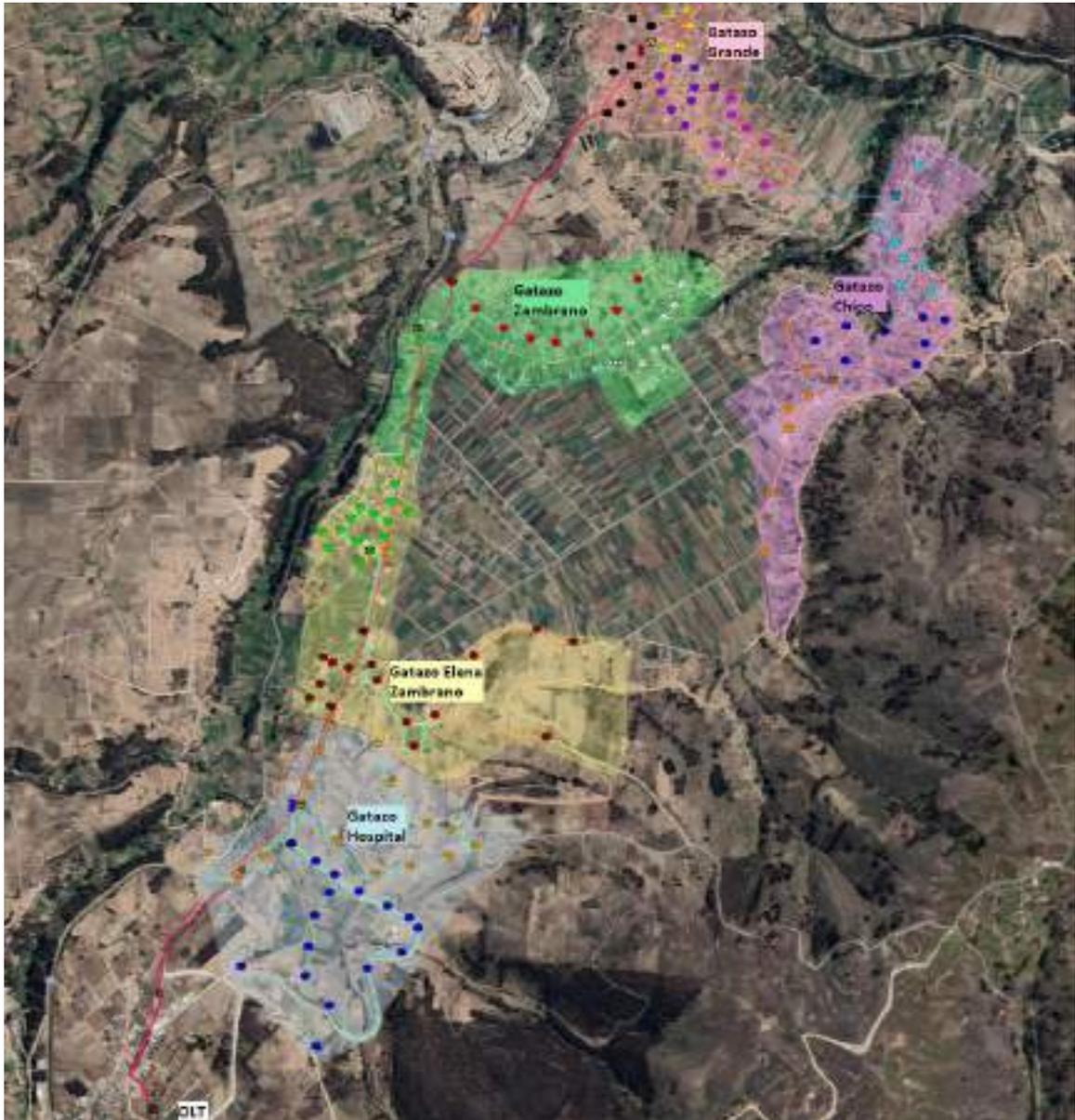


Figura 6-2: Área de diseño de la red propuesta

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

El cable feeder inicia desde la OLT y será instalada de forma aérea, partiendo desde el poste N° 20976 y se extiende 4km a lo largo de la carretera Panamericana hasta el poste N° 157348, ubicado en la comunidad Gatazo Zambrano donde se ubica una manga troncal MT03 de extensión en la cual se fusiona los hilos del 8 al 24 correspondientes al buffer 1 y 2 del primer cable feeder de 24 hilos con los hilos del 8 al 24 correspondientes al buffer 1 y 2 de un segundo cable feeder igualmente de 24 hilos y de 4 km de extensión hasta llegar al poste 1180 ubicado en la parroquia Calpi. En la figura 8-2 se puede observar de color rojo el cable feeder de 24 hilos.

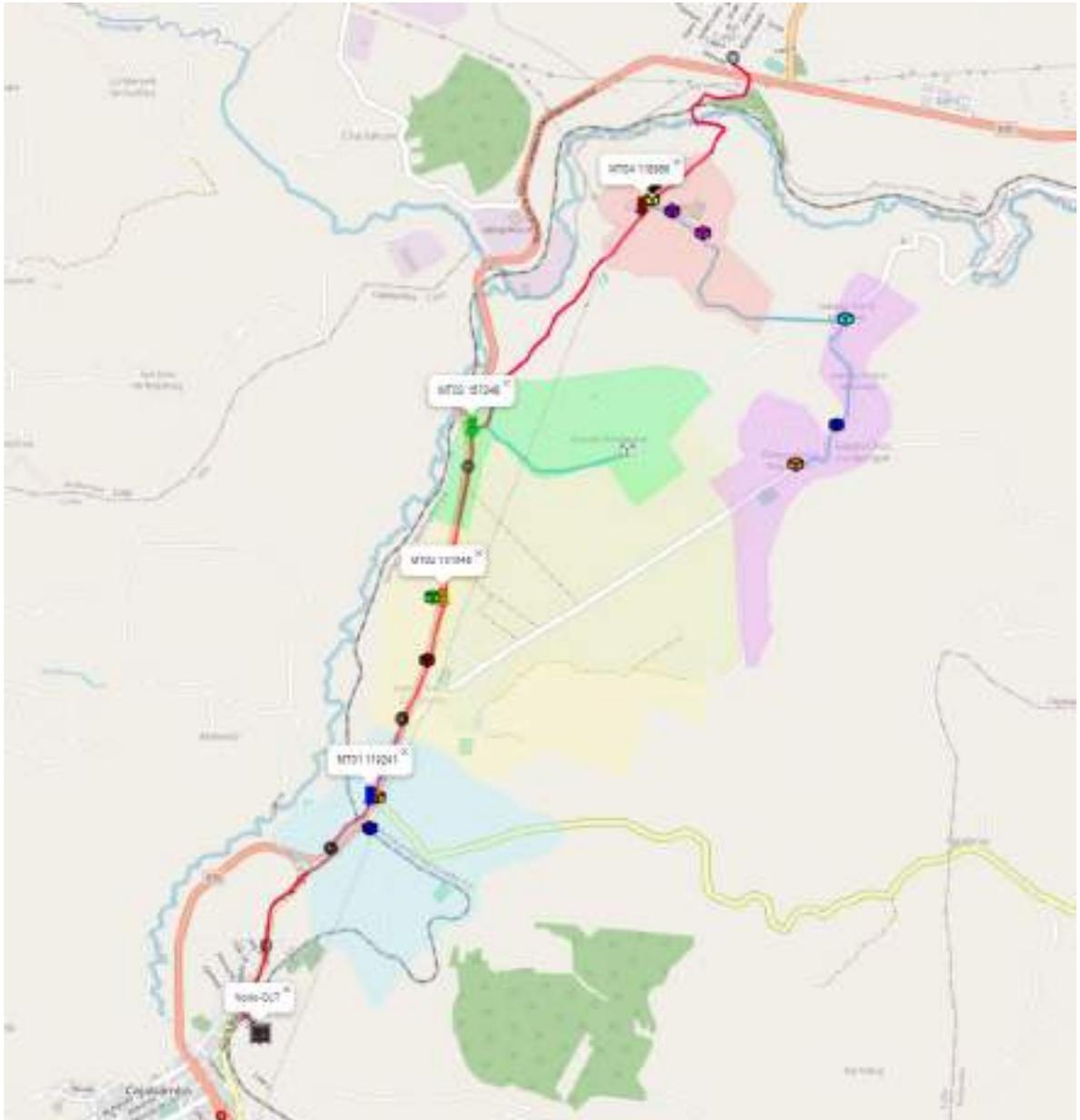


Figura 8-2: Red Feeder

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

El cable de red feeder se extiende mediante 4 Mangas Troncales MT0X para llegar a las distintas comunidades principales de todo el sector de Gatazo como se muestra en la figura 8-2. En la tabla 10-2 se muestra las ubicaciones de las 4 mangas troncales que sirven como extensión del cable feeder y se detalla los hilos que se fusionan en cada manga.

Tabla 10-2: Ubicación de las mangas troncales de la red

| N° MANGA | Zona | Hilos derivación | N° Poste | Ubicación |
|----------|------------------------------|--|----------|-------------------|
| MT01 | Gatazo Hospital | Azul y naranja | 119241 | -1.6868, -78.7621 |
| MT02 | Gatazo Elena Zambrano | Verde y café | 101648 | -1.6765, -78.7584 |
| MT03 | Gatazo Zambrano | Gris, blanco y rojo | 157348 | -1.6675, -78.7569 |
| MT04 | Gatazo Grande y Gatazo Chico | Negro, amarillo, lila, rosado, celeste, azul 2 y naranja 2 | 118965 | -1.6558, -78.7478 |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Por último en el recorrido del cable de fibra troncal se considera 5 reservas de cable de 25 metros cada una como se observa en la figura 8-2. Las reservas de cable de fibra óptica servirán para futuras extensiones de la red, mantenimientos o incluso reparaciones por accidentes inesperados.

A continuación en la tabla 11-2 se detalla el número de poste y la ubicación de las reservas de cable de fibra de la red feeder o troncal.

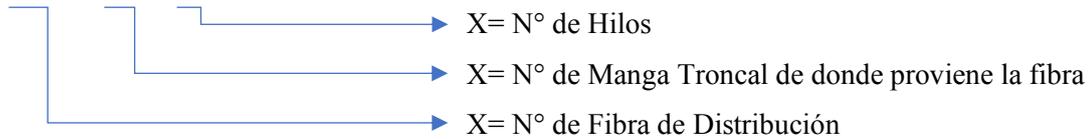
Tabla 11-2: Ubicación de las reservas de cable de fibra troncal.

| N° Reserva | Zona | Longitud | N° Poste | Ubicación |
|------------|-----------------------|-----------|----------|-------------------|
| 1 | Cajabamba | 25 metros | 117813 | -1.6944, -78.7674 |
| 2 | Gatazo Hospital | 25 metros | 105165 | -1.6896, -78.7641 |
| 3 | Gatazo Elena Zambrano | 25 metros | 119315 | -1.6826, -78.7604 |
| 4 | Gatazo Zambrano | 25 metros | 101655 | -1.6690, -78.7569 |
| 5 | Calpi | 25 metros | 11180 | -1.6489, -78.7424 |

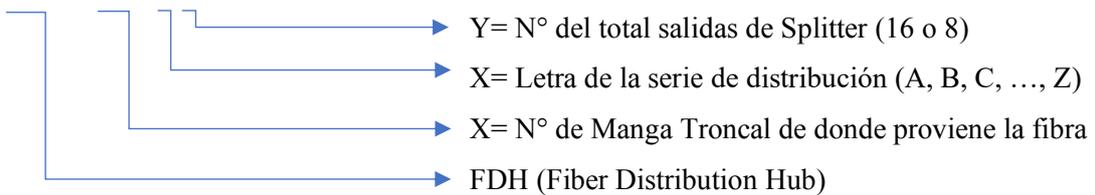
Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Para un mejor entendiendo y descripción de la red se manejará la siguiente nomenclatura en cables de Fibra Troncal o Distribución, FDHs y NAPs.

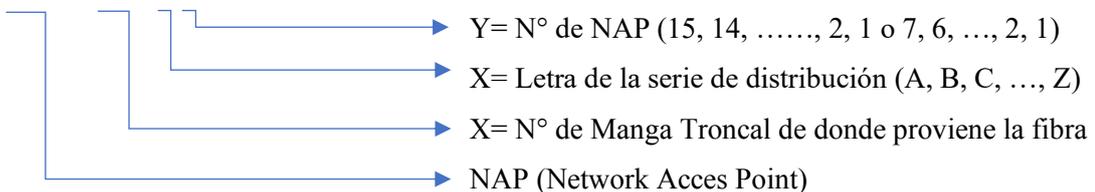
FD0X-MT0X-XH



FDH-MT0X-XY



NAP-MT0X-XY



2.5.2.1. Derivación de cable feeder para la zona Gatazo Hospital

En la manga troncal MT01 se realiza el primer “sangrado” del cable feeder de 24 hilos, en donde el hilo 1 y 2 del buffer 1 (azul y naranja) se fusionan cada uno con una derivación de cable de fibra óptica de 12 hilos que llega a un armario de distribución de fibra FDH donde se realiza el 1° nivel de splitteo.

El hilo azul de la fibra troncal FT01-24H se fusiona con el hilo azul de la fibra de distribución FD01-MT01-12H, mediante esta fibra se llega al armario FDH-MT01-A16 donde se realiza el 1° nivel de splitteo con una relación de división 1:16, mientras que el hilo naranja de la fibra troncal FT01-24H se fusiona con el hilo naranja de la fibra de distribución FD02-MT01-12H, mediante esta fibra se llega al armario FDH-MT01-B16 donde se realiza el 1° nivel de splitteo con una relación de división 1:16.

En la tabla 12-2 y en la figura 9-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en la manga troncal MT01.

Tabla 12-2: Conexiones de la Manga Troncal MT01

| Cable entrada | Hilos fusionados | Cables de salida |
|---------------|-----------------------------|------------------|
| FT01-24H | Hilo Azul - Hilo Azul | FD01-MT01-12H |
| | Hilo Naranja - Hilo Naranja | FD02-MT01-12H |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

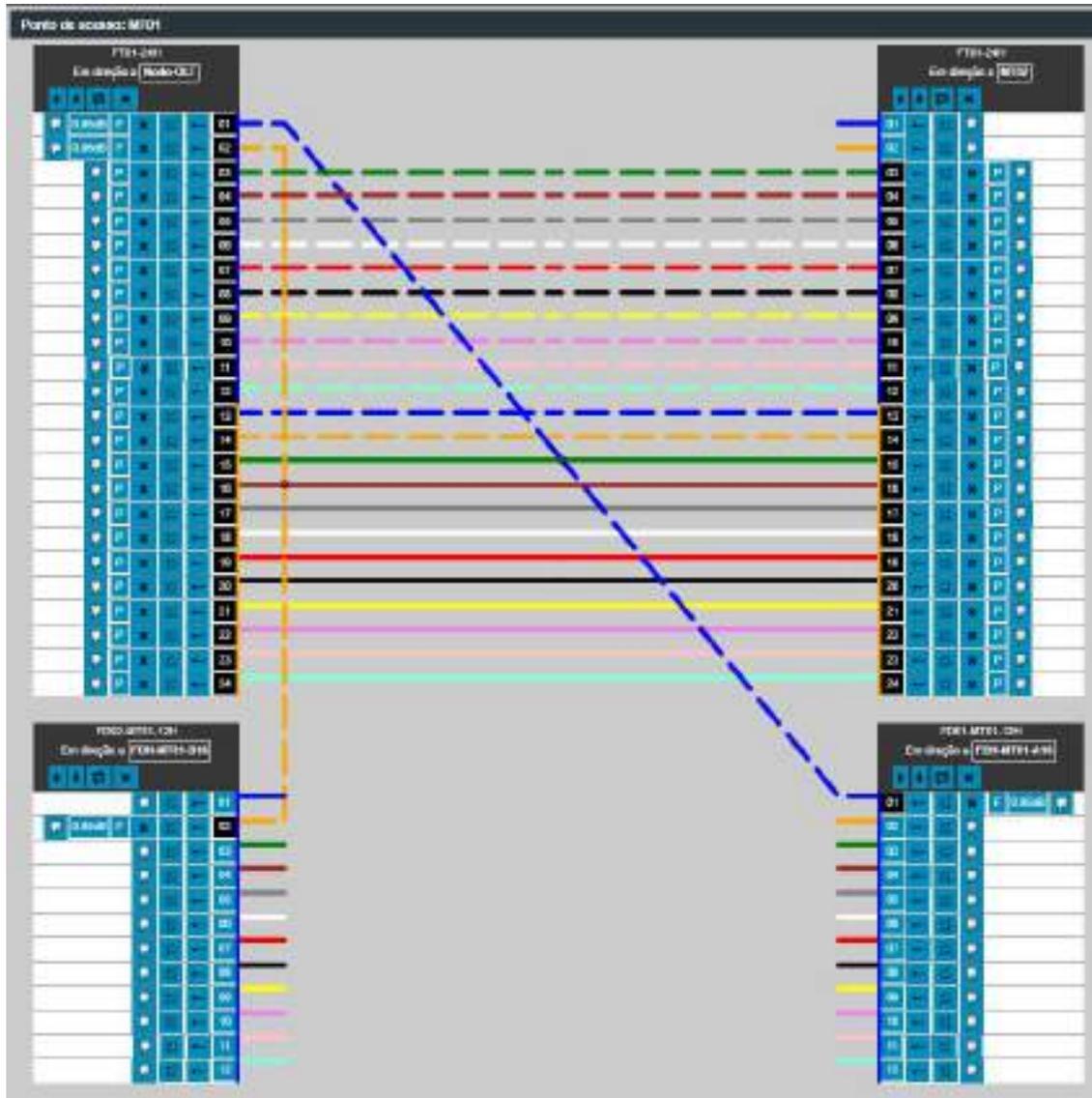


Figura 9-2: Manga Troncal MT01

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

2.5.2.2. Derivación de cable feeder para la zona Gatazo Elena

En la manga troncal MT02 se realiza el segundo “sangrado” del cable feeder de 24 hilos, en donde el hilo 3 y 4 del buffer 1 (verde y café) se fusionan cada uno con una derivación de cable de fibra óptica de 12 hilos que llega a un armario de distribución de fibra FDH donde se realiza el 1º nivel de splitteo.

El hilo verde de la fibra troncal FT01-24H se fusiona con el hilo verde de la fibra de distribución FD01-MT02-12H, mediante esta fibra se llega al armario FDH-MT02-A16 donde se realiza el 1° nivel de splitteo con una relación 1:16, mientras que el hilo café de la fibra troncal FT01-24H se fusiona con el hilo café de la fibra de distribución FD02-MT02-12H, mediante esta fibra se llega al armario FDH-MT02-B16 donde se realiza el 1° nivel de splitteo con una relación 1:16.

En la tabla 13-2 y en la figura 10-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en la manga troncal MT02.

Tabla 13-2: Conexiones de la Manga Troncal MT02

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|---------------|-------------------------|------------------|
| FT01-24H | Hilo Verde - Hilo Verde | FD01-MT02-12H |
| | Hilo Café - Hilo Café | FD02-MT02-12H |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

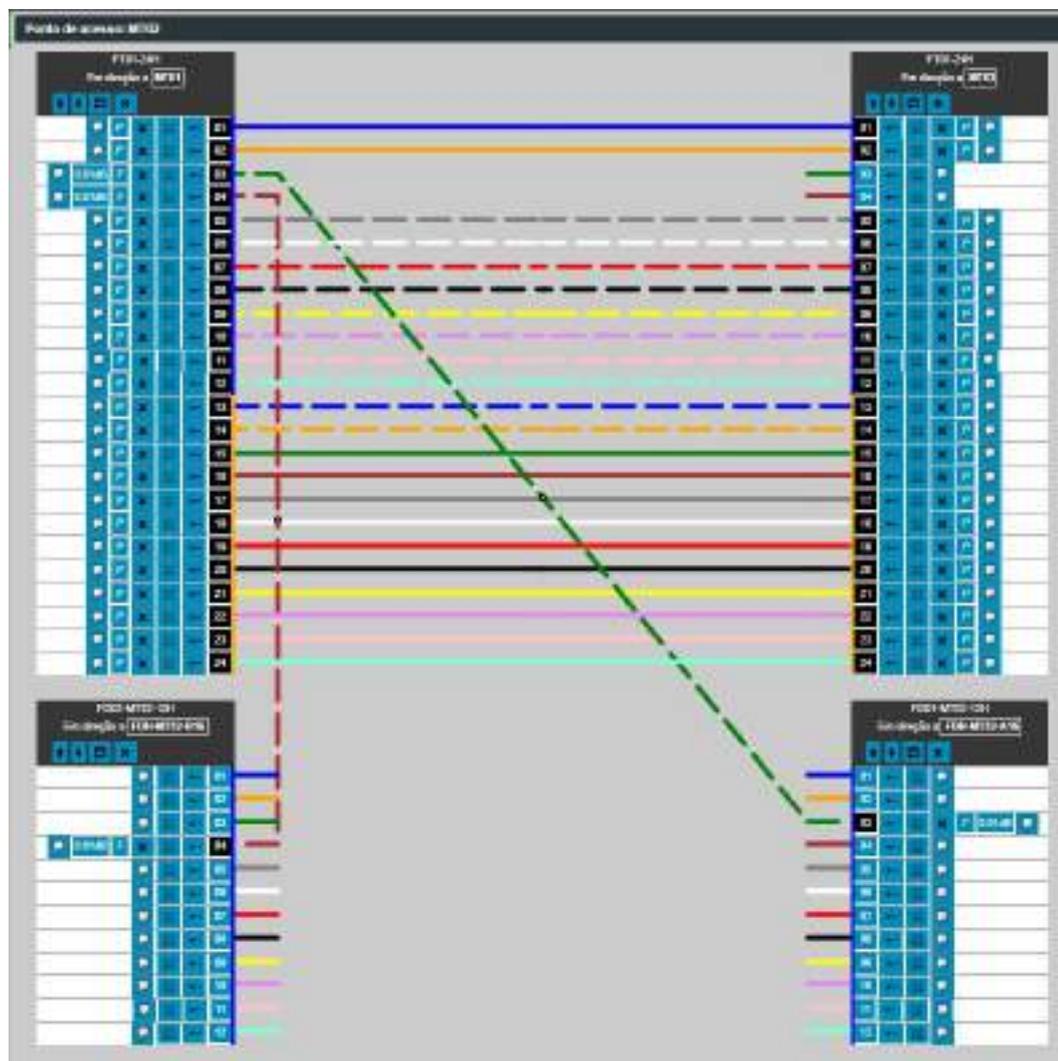


Figura 10-2: Manga Troncal MT02

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

2.5.2.3. Derivación de cable feeder para la zona Gatazo Zambrano

Como se menciono anteriormente red troncal principal esta conformado por 2 cables de fibra troncal de 24 hilos y de 4 km de longitus cada uno, el primer cable de fibra troncal FT01-24H se extiende hasta la manga troncal MT03, en donde se extiende mediante la fusion secuencial de los hilos del 8 al 24 con los hilos del 8 al 24 del segundo cable de fibra troncal FT02-24H.

En la manga troncal MT03 se realiza el tercer “sangrado” del cable feeder de 24 hilos, en donde el hilo 5, 6 del buffer 1 (gris, blanco) se fusionan con una derivación de cable de fibra óptica de 12 hilos, de igual manera el hilo 7 del buffer 1 (rojo) se fusiona con otra derivación de cable de fibra de 12 hilos. Cada derivación de cable de fibra llega a un armario de distribución de fibra FDH donde se realiza el 1° nivel de splitteo

El hilo gris y blanco de la fibra troncal FT01-24H se fusiona con el hilo gris y blanco de la fibra de distribución FD01-MT03-12H, mediante esta fibra se llega al armario FDH-MT03-A16 donde se realiza el 1° nivel de splitteo con una relación de división 1:16 y posteriormente al armario FDH-MT03-B08 donde se realiza el 1° nivel de splitteo con una relación de división 1:8, mientras que el hilo rojo de la fibra troncal FT01-24H se fusiona con el hilo rojo de la fibra de distribución FD02-MT03-12H, mediante esta fibra se llega al armario FDH-MT01-C08 donde se realiza el 1° nivel de splitteo con una relación de división 1:8.

En la tabla 14-2 y en la figura 11-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en la manga troncal MT03.

Tabla 14-2: Conexiones de la Manga Troncal MT03

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|----------------------|---------------------------|-------------------------|
| FT01-24H | Hilo Gris - Hilo Gris | FD01-MT03-12H |
| | Hilo Blanco - Hilo Blanco | |
| | Hilo Rojo - Hilo Rojo | FD02-MT03-12H |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

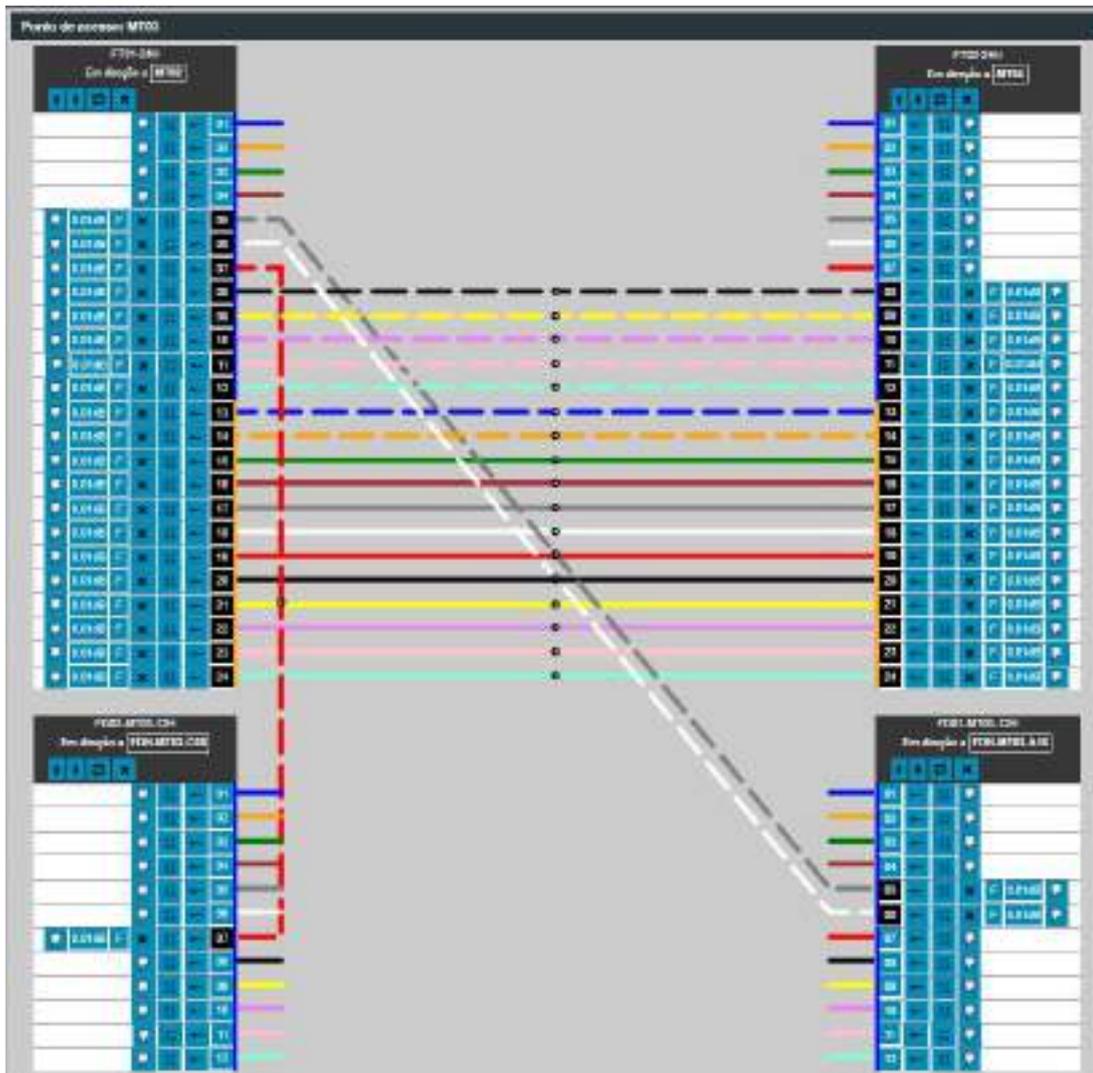


Figura 11-2: Manga Troncal MT03

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

2.5.2.4. Derivación de cable feeder para la zona Gatazo Grande y Gatazo Chico

En la manga troncal MT04 se realiza el cuarto “sangrado” del cable feeder de 24 hilos, en donde los hilos 8, 9, 10, 11 y 12 del buffer 1 (negro, amarillo, gris y violeta y celeste) y los hilos 1 y 2 del buffer 2 (azul y naranja) se fusionan con una derivación de cable de fibra óptica de 12 hilos. Cada hilo de derivación de cable de fibra llega a un armario de distribución de fibra FDH donde se realiza el 1° nivel de splitteo

Los hilos: negro, amarillo, lila, celeste del buffer 1 y los hilos azul y naranja del buffer 2 de la fibra troncal FT02-24H se fusiona con sus hilos iguales negro, amarillo, lila, celeste, azul y naranja de la fibra de distribución FD01-MT04-12H, mediante esta fibra se llega en primer lugar al armario FDH-MT04-B08 y posteriormente a 6 armarios FDH-MT04- X08 (donde X=A, C, D, E, F, G). En estos 6 armarios se realiza el 1° nivel de splitteo con una relación de división 1:8.

En la tabla 15-2 y en la figura 12-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en la manga troncal MT04.

Tabla 15-2: Conexiones de la Manga Troncal MT04

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cable de salida |
|---------------|---------------------------------|-----------------|
| FT02-24H | Hilo Negro - Hilo Negro | FD01-MT04-12H |
| | Hilo Amarillo - Hilo Amarillo | |
| | Hilo Lila - Hilo Lila | |
| | Hilo Rosado - Hilo Rosado | |
| | Hilo Celeste - Hilo Celeste | |
| | Hilo Azul (2) – Hilo Azul | |
| | Hilo Naranja (2) – Hilo Naranja | |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

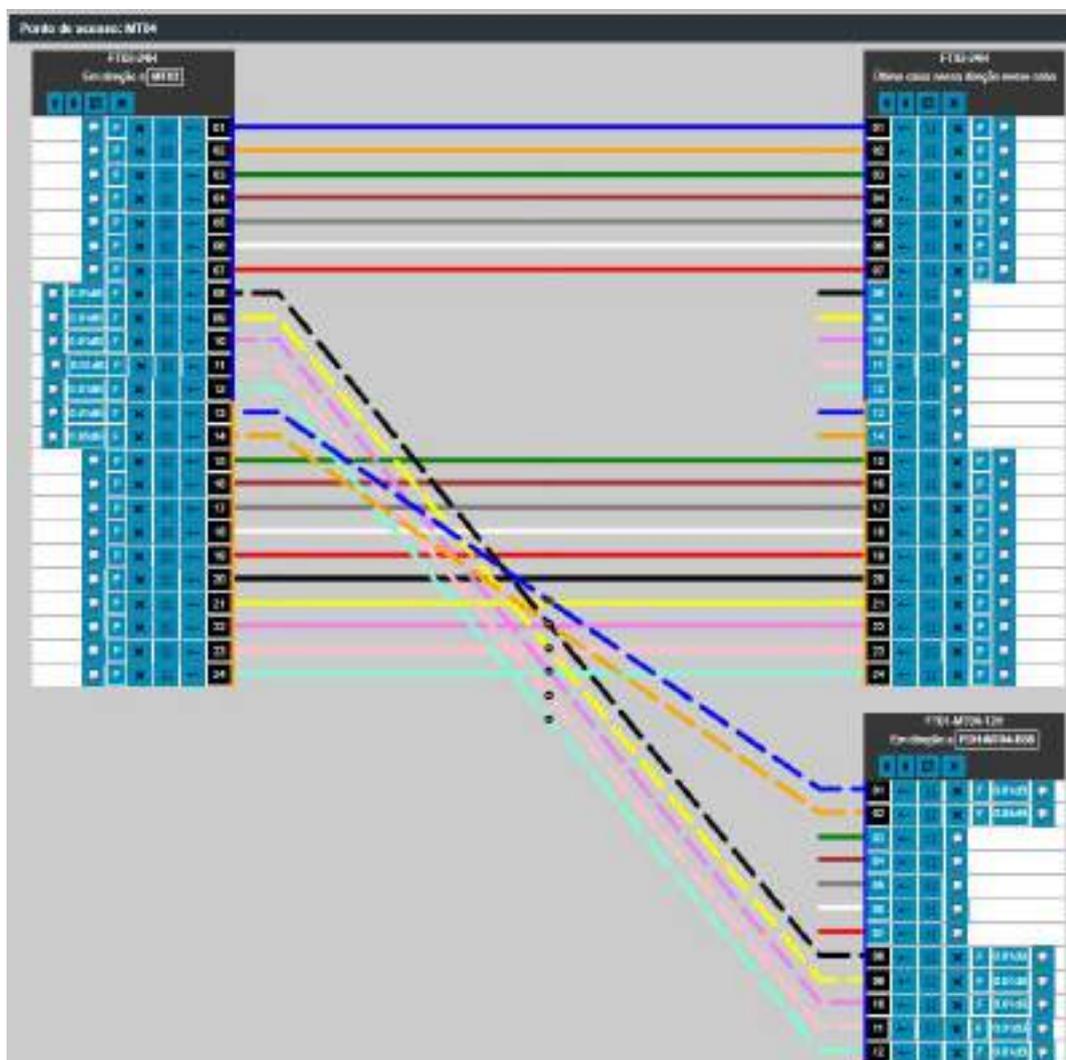


Figura 12-2: Manga Troncal MT04

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

2.5.3. Red de distribución

Los segmentos de red de distribución de la red comienzan a partir de los FDH donde se realiza el primer nivel de splitteo con una relación de división 1:16 o 1:8 dependiendo las pérdidas de la fibra óptica por distancia desde el OLT, las salidas de los splitter se fusionan a derivaciones de cables de fibra óptica hasta llegar a las NAPS donde se realiza el segundo nivel de splitteo siempre con una relación de división 1:8.

Los cables de fibra óptica utilizados para el segmento de distribución de una red son de menor capacidad que los cables feeder por lo general son de 96, 48, 24 y 12hilos, sin embargo para el desarrollo de este proyecto se utilizan cables de distribución de menor capacidad, como cables de 12, 8 o 6 hilos dependiendo la situación,

En la tabla 16-2 se detalla la ubicación del respectivo poste donde se ubican los armarios de distribución de fibra FDHs para cada comunidad del sector Gatazo, además se indica el color del hilo del cable de red feeder al que se realizara el primer nivel de splitter.

Tabla 16-2: Ubicación de los FDHs

| N° FDH | Color Hilo | Zona | N° Poste | Ubicación |
|--------------|------------|-----------------------|----------|-------------------|
| FDH-MT01-A16 | Azul | Gatazo Hospital | 119180 | -1.6886, -78.7614 |
| FDH-MT01-B16 | Naranja | Gatazo Hospital | 119244 | -1.6870, -78.7613 |
| FDH-MT02-A16 | Verde | Gatazo Elena Zambrano | 119344 | -1.6763, -78.7587 |
| FDH-MT02-B16 | Café | Gatazo Elena Zambrano | 101645 | -1.7694, -78.7591 |
| FDH-MT03-A16 | Gris | Gatazo Zambrano | 137055 | -1.6669, -78.7568 |
| FDH-MT03-B08 | Blanco | Gatazo Zambrano | 152291 | -1.6684, -78.7486 |
| FDH-MT03-C08 | Rojo | Gatazo Zambrano | 118095 | -1.6655, -78.7556 |
| FDH-MT04-A08 | Negro | Gatazo Grande | 176294 | -1.6546, -78.7473 |
| FDH-MT04-B08 | Amarillo | Gatazo Grande | 7419 | -1.6553, -78.7475 |
| FDH-MT04-C08 | Lila | Gatazo Grande | 119038 | -1.6559, -78.7465 |
| FDH-MT04-D08 | Rosado | Gatazo Grande | 119018 | -1.6571, -78.7448 |
| FDH-MT04-E08 | Celeste | Gatazo Chico | 119131 | -1.6616, -78.7375 |
| FDH-MT04-F08 | Azul | Gatazo Chico | 119114 | -1.6675, -78.7381 |
| FDH-MT04-G08 | Naranja | Gatazo Chico | 119070 | -1.6692, -78.7401 |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

A continuación en la figura 13-2 se aprecia una vista general de los elementos (FDHs, NAPs y cables de fibra) de la red de distribución para cada una de las comunidades de Gatazo.

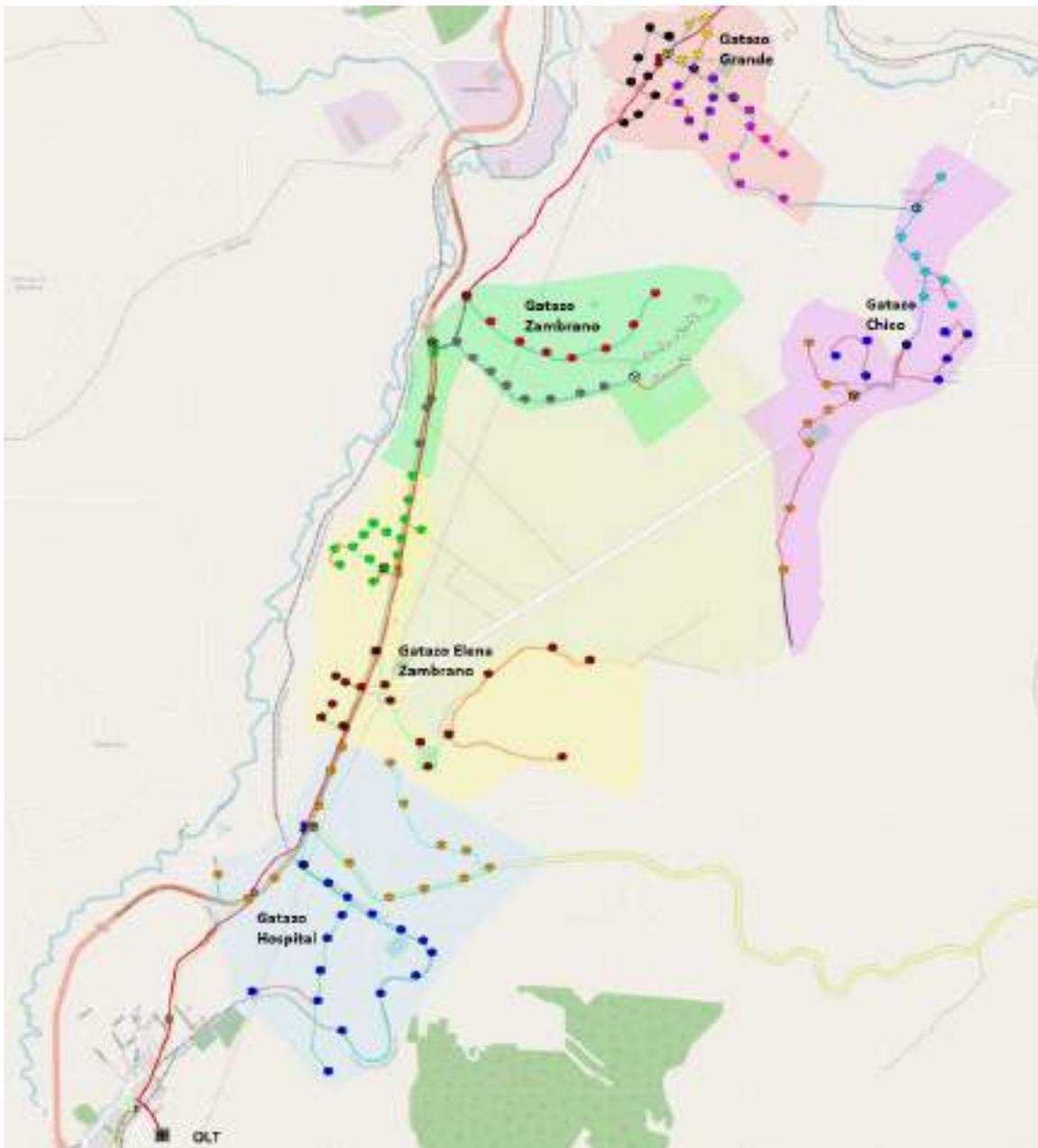


Figura 13-2: Red de Distribución

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Algo a tomar en cuenta es que en el diseño propuesto un armario FDH también se considera una caja NAP, debido a que en todos los armarios FDH de la red se realiza tanto el 1° y 2° nivel de splitteo.

2.5.3.1. Zona Gatazo Hospital

Para proveer de cobertura a toda la zona Gatazo Hospital se ubican 2 armarios de distribución de fibra como se muestra en la figura 14-2, el armario FDH-MT01-A16 de color azul habilita la serie A conformada por 15 cajas NAPs de color azul, mientras que el armario FDH-MT01-B16 de color naranja habilita la serie B conformada por 15 cajas NAPs de color naranja,

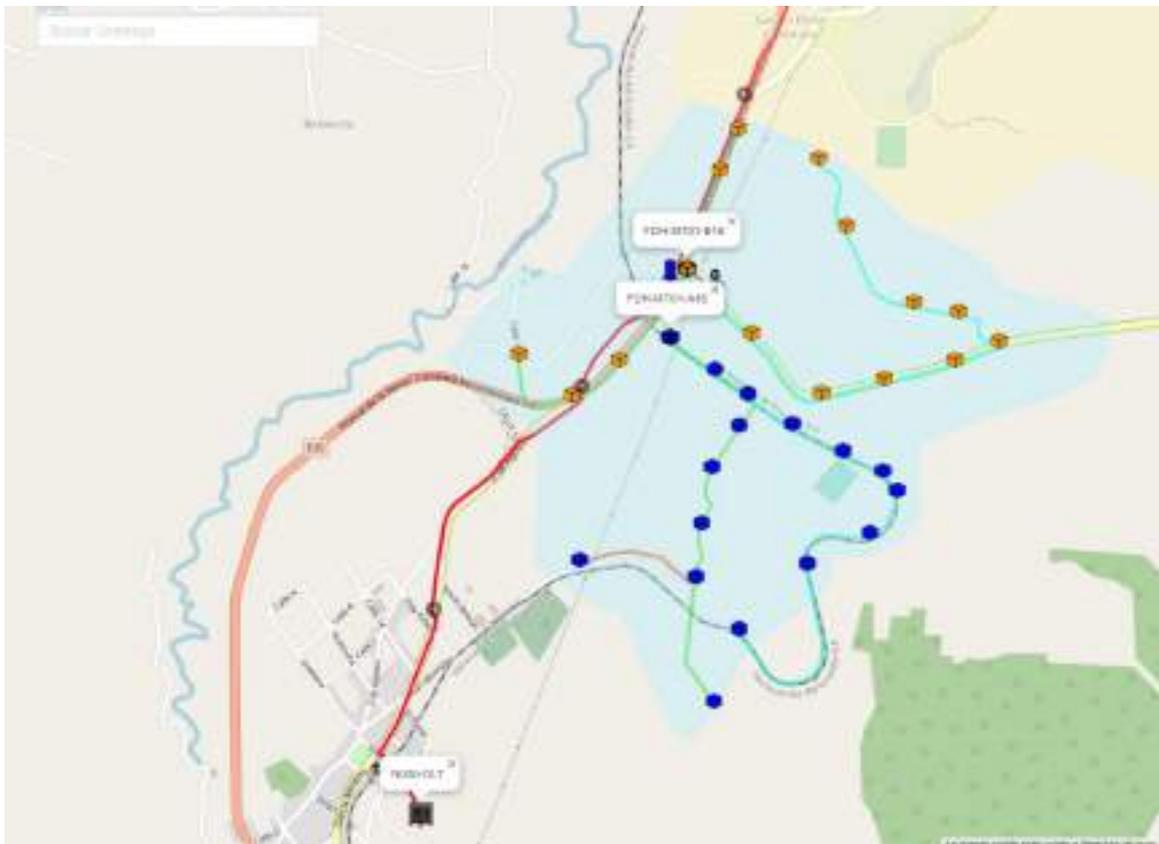


Figura 14-2: Red de Distribución en la zona Gatazo Hospital

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el primer armario FDH-MT01-A16 ingresa la fibra de distribución FD01-MT01-12H, en donde hilo azul proveniente de la manga MT01 se fusiona con un 1° splitter 1:16. De las 16 salidas del splitter, la salida 1 se fusiona con el 2° splitter 1:8 y las 15 salidas restantes son destinadas a 15 cajas NAPs donde se realiza el 2° nivel de splitter 1:8, de modo que las salidas de la 2 a la 10 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 1 al 9 de la fibra de distribución FD01-MT01-12H y las salidas de la 11 a la 16 se fusionan con los hilos de 1 al 6 de la fibra de distribución FD01-MT01-A16-8H.

En la tabla 17-2 y en la figura 15-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos de fibra que intervienen en el primer armario FDH-MT01-A16 de la zona Gatazo Hospital.

Tabla 17-2: Conexiones del armario FDH-MT01-A16

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|-------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| FD01-MT01-12H | Hilo azul – Entrada Splitter 1:16 | 16 salidas |
| Splitter 1:16 (16 salidas) | Salida 1 - Entrada Splitter 1:8 | 8 salidas |
| | Salida 2 - Hilo azul | FD01-MT01-12H |
| | Salida 3 – Hilo naranja | |
| | Salida 4 – Hilo verde | |
| | Salida 5 – Hilo café | |
| | Salida 6 – Hilo gris | |
| | Salida 7 – Hilo blanco | |
| | Salida 8 – Hilo rojo | |
| | Salida 9 – Hilo negro | |
| | Salida 10 – Hilo amarillo | |
| | Salida 11 – Hilo azul | |
| | Salida 12 – Hilo naranja | |
| | Salida 13 – Hilo verde | |
| | Salida 14 – Hilo café | |
| | Salida 15 – Hilo gris | |
| | Salida 16 – Hilo blanco | |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

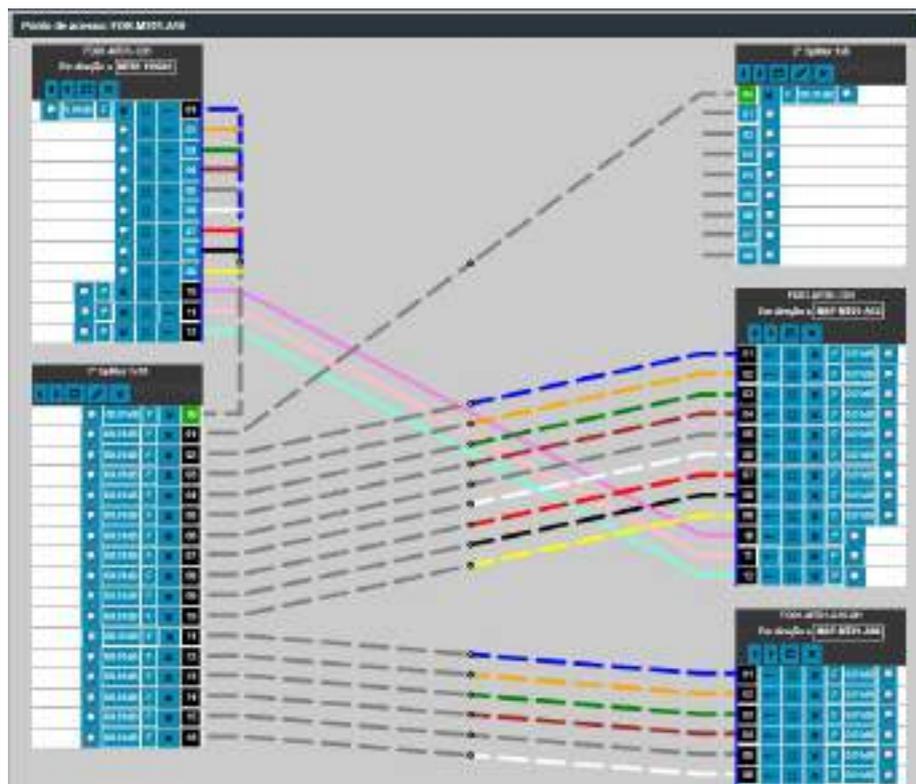


Figura 15-2: Armario de distribución de fibra FDH-MT01-A16

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

El segundo armario FDH-MT01-B16 ingresa la fibra de distribución FD02-MT01-12H, en donde el hilo naranja proveniente de la manga MT01 se fusiona con un 1° splitter 1:16. De las 16 salidas del splitter, la salida 1 se fusiona con el 2° splitter 1:8 y las 15 salidas restantes son destinadas a 15 cajas NAPs donde se realiza el 2° nivel de splitter 1:8, de modo que las salidas de la 2 a la 10 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 1 al 9 de la fibra FD02-MT01-12H y las salidas 11, 12 y 13 se fusionan con los hilos de 1,2 y 3 de la fibra FD02-MT01-B16-8H y de igual manera las salidas 14, 15 y 16 se fusionan con los hilos 1, 2 y 3 de la fibra FD03-MT01-B16-8H.

En la tabla 18-2 y en la figura 16-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en el segundo armario FDH-MT01-B16 de la zona Gatazo Hospital.

Tabla 18-2: Conexiones del armario FDH-MT01-B16

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| FD02-MT01-12H | Hilo naranja – Entrada Splitter 1:16 | 16 salidas |
| Splitter 1:16 (16 salidas) | Salida 1 - Entrada Splitter 1:8 | 8 salidas |
| | Salida 2 - Hilo azul | FD02-MT01-12H |
| | Salida 3 – Hilo naranja | |
| | Salida 4 – Hilo verde | |
| | Salida 5 – Hilo café | |
| | Salida 6 – Hilo gris | |
| | Salida 7 – Hilo blanco | |
| | Salida 8 – Hilo rojo | |
| | Salida 9 – Hilo negro | |
| | Salida 10 – Hilo amarillo | |
| | Salida 11 – Hilo azul | |
| | Salida 12 – Hilo naranja | |
| | Salida 13 – Hilo verde | |
| | Salida 14 – Hilo azul | FD03-MT01-B16-8H |
| | Salida 15 – Hilo naranja | |
| | Salida 16 – Hilo verde | |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

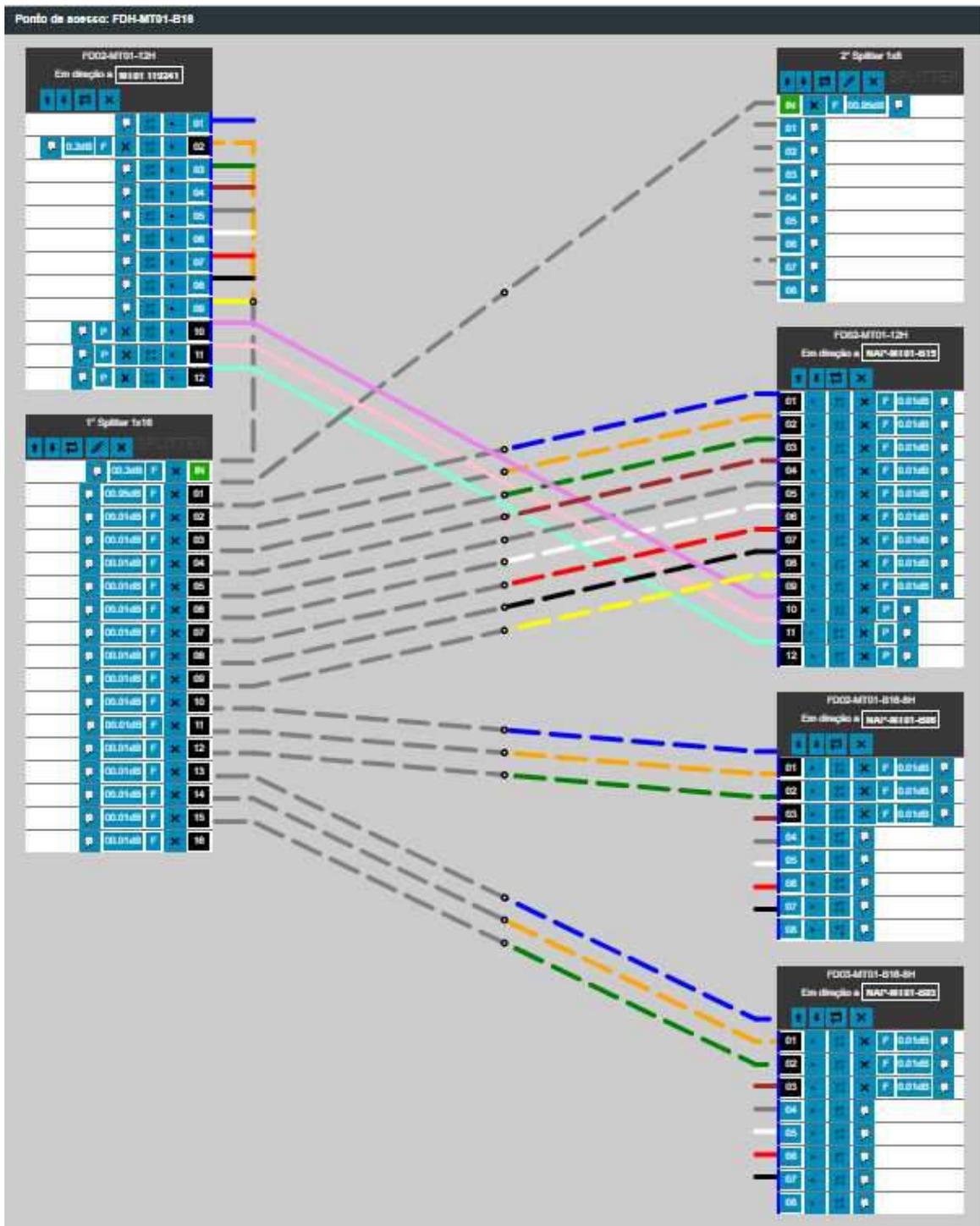


Figura 16-2: Armário de distribuição de fibra FDH-MT01-B16

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

2.5.3.2. Zona Gatazo Elena Zambrano

Para proveer de cobertura a toda la zona Gatazo Elena Zambrano se ubican 2 armarios de distribución de fibra óptica como se muestra en la figura 17-2, el armario FDH-MT02-A16 de color verde habilita la serie A conformada por 14 cajas NAPs de color verde, mientras que el armario FDH-MT02-B16 de color café habilita la serie B conformada por 15 cajas NAPs de color café.

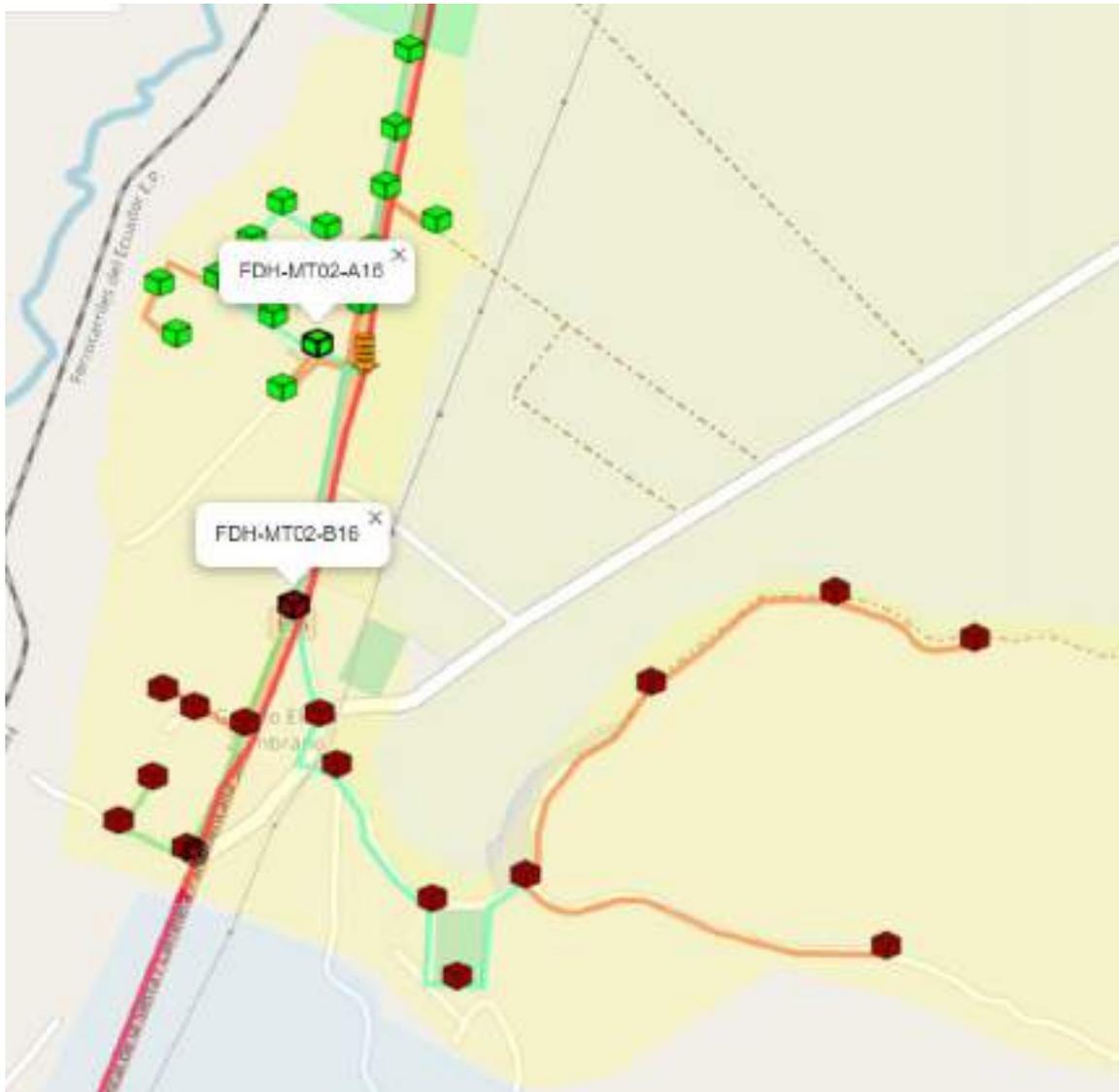


Figura 17-2: Red de Distribución en la zona Gatazo Eleno Zambrano

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el primer armario FDH-MT02-A16 ingresa la fibra de distribución FD01-MT02-12H, en donde el hilo verde proveniente de la manga MT02 se fusiona con el 1° splitter 1:16. De las 16 salidas del splitter, la salida 1 se fusiona con el 2° splitter 1:8 y las 15 salidas restantes son destinadas a 15 cajas NAPs donde se realiza el 2° nivel de splitter 1:8, de modo que las salidas de la 2 a la 12 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 1 al 11 de la fibra de distribución FD01-MT02-12H y las salidas de la 13 a la 15 se fusionan con los hilos del 1 al 3 de la fibra FD02-MT02-A16-6H, dejando el último hilo 16 de reserva para habilitar una futura caja NAP.

En la tabla 19-2 y en la figura 18-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en el primer armario FDH-MT02-A16 de la zona Gatazo Elena Zambrano.

Tabla 19-2: Conexiones del armario FDH-MT02-A16

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| FD01-MT02-12H | Hilo verde – Entrada Splitter 1:16 | 16 salidas |
| Splitter 1:16 (16 salidas) | Salida 1 - Entrada Splitter 1:8 | 8 salidas |
| | Salida 2 - Hilo azul | FD01-MT02-12H |
| | Salida 3 – Hilo naranja | |
| | Salida 4 – Hilo verde | |
| | Salida 5 – Hilo café | |
| | Salida 6 – Hilo gris | |
| | Salida 7 – Hilo blanco | |
| | Salida 8 – Hilo rojo | |
| | Salida 9 – Hilo negro | |
| | Salida 10 – Hilo amarillo | |
| | Salida 11 – Hilo lila | |
| | Salida 12 – Hilo rosado | |
| | Salida 13 – Hilo azul | |
| | Salida 14 – Hilo naranja | |
| | Salida 15 – Hilo verde | |
| | | Salida 16 |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.



Figura 18-2: Armario de distribución de fibra FDH-MT02-A16

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el segundo armario FDH-MT02-B16 ingresa la fibra FD02-MT02-12H, en donde el hilo café proveniente de la manga MT02 se fusiona con el 1º splitter 1:16. De las 16 salidas del splitter, la salida 1 se fusiona con el 2º splitter 1:8 y las 15 salidas restantes son destinadas a 15 cajas NAPs donde se realiza el 2º nivel de splitter 1:8, de modo que las salidas de la 2 a la 10 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 1 al 9 de la fibra de distribución FD02-MT02-12H y las salidas de la 11 a la 16 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 1 al 6 de la fibra de distribución FD01-MT02-B16-8H.

En la tabla 20-2 y en la figura 19-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en el segundo armario FDH-MT02-B16 de la zona Gatazo Elena Zambrano.

Tabla 20-2: Conexiones del armario FDH-MT02-B16

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|-------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| FD02-MT02-12H | Hilo café – Entrada Spliiter 1:16 | 16 salidas |
| Splitter 1:16 (16 salidas) | Salida 1 - Entrada Splitter 1:8 | 8 salidas |
| | Salida 2 - Hilo azul | FD02-MT02-12H |
| | Salida 3 – Hilo naranja | |
| | Salida 4 – Hilo verde | |
| | Salida 5 – Hilo café | |
| | Salida 6 – Hilo gris | |
| | Salida 7 – Hilo blanco | |
| | Salida 8 – Hilo rojo | |
| | Salida 9 – Hilo negro | |
| | Salida 10 – Hilo amarillo | |
| | Salida 11 – Hilo azul | |
| | Salida 12 – Hilo naranja | |
| | Salida 13 – Hilo verde | |
| | Salida 14 – Hilo café | |
| | Salida 15 – Hilo gris | |
| | Salida 16 – Hilo blanco | |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

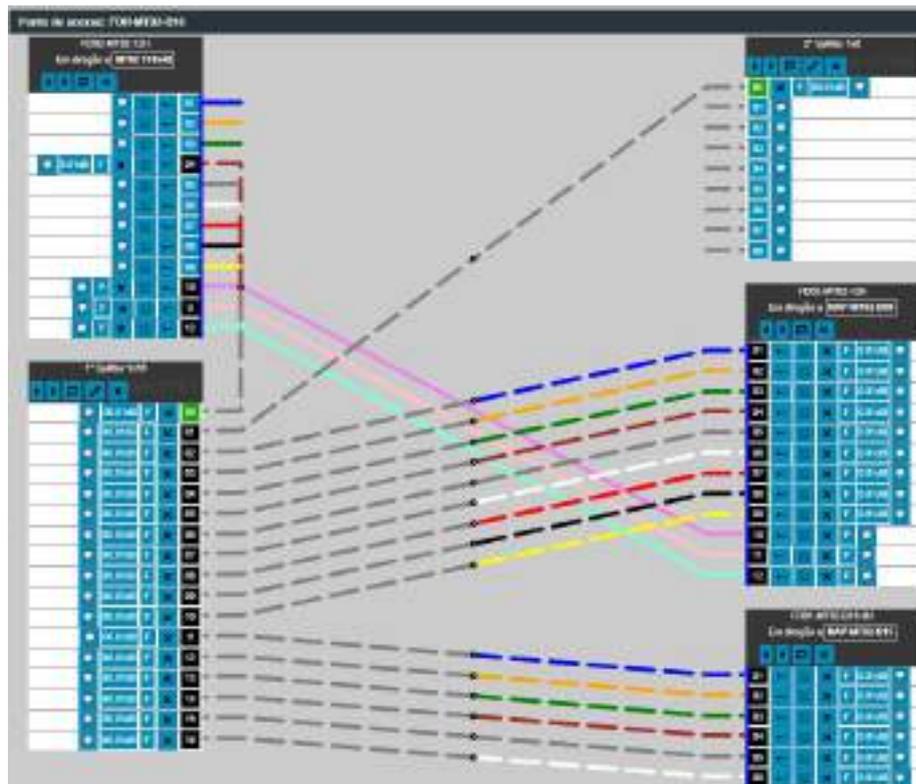


Figura 19-2: Armario de distribución de fibra FDH-MT02-B16

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

2.5.3.3. Zona Gatazo Zambrano

Para proveer de cobertura a toda la zona Gatazo Zambrano se ubican 3 armarios de distribución de fibra como se muestra en la figura 20-2, el armario FDH-MT03-A16 de color gris habilita la serie A conformada por 10 cajas NAPs de color gris, mientras que el armario FDH-MT03-B08 de color blanco habilita la serie B conformada por 7 cajas NAPs de color blanco y por último el armario FDH-MT03-C08 de color rojo habilita la serie C conformada por 7 cajas NAPs de color rojo.

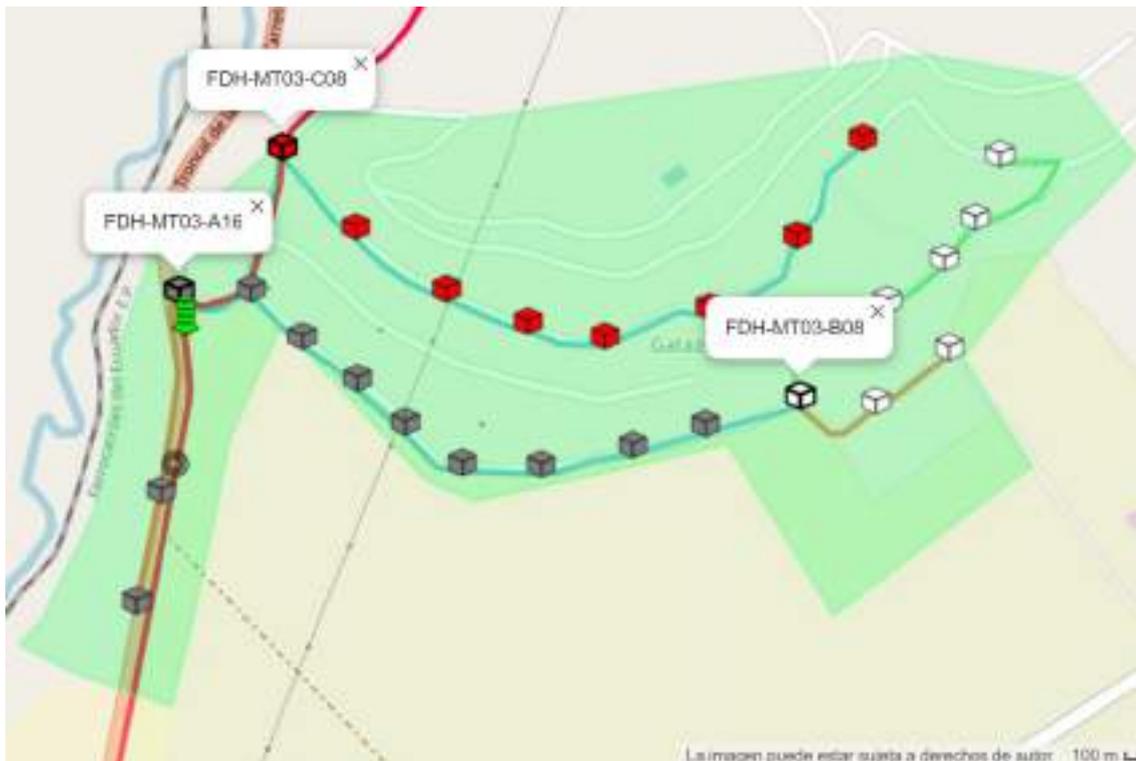


Figura 20-2: Red de Distribución en la zona Gatazo Zambrano

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el primer armario FDH-MT03-A16 ingresa la fibra de distribución FD01-MT03-12H, en donde el hilo gris proveniente de la manga MT03 se fusiona con el 1° splitter 1:16 y el hilo blanco igualmente proveniente de la manga MT03 se fusionará de manera directa al último hilo de la fibra de distribución FD01-MT03-12H.

De las 16 salidas del splitter de 1° nivel, la salida 1 se fusiona con el 2° splitter 1:8 y las 15 salidas restantes son destinadas a 15 cajas NAPs donde se realiza el 2° nivel de splitter 1:8, de modo que las salidas de la 2 a la 9 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 1 al 8 de la fibra de distribución FD01-MT03-12H y las salidas 15 y 16 se fusionan con los hilos de 5 y 6 de la fibra de distribución FD01-MT03-A16-6H, dejando las salidas de la 10 a la 14 de reserva para habilitar futuras cajas NAPs.

En la tabla 21-2 y en la figura 21-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en el primer armario FDH-MT03-A16 de la zona Gatazo Zambrano.

Tabla 21-2: Conexiones del armario FDH-MT03-A16

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| FD01-MT03-12H | Hilo gris – Entrada Splitter 1:16 | 16 salidas |
| | Hilo blanco – Hilo Celeste | FD01-MT03-12H |
| Splitter 1:16 (16 salidas) | Salida 1 - Entrada Splitter 1:8 | 8 salidas |
| | Salida 2 - Hilo azul | FD01-MT03-12H |
| | Salida 3 – Hilo naranja | |
| | Salida 4 – Hilo verde | |
| | Salida 5 – Hilo café | |
| | Salida 6 – Hilo gris | |
| | Salida 7 – Hilo blanco | |
| | Salida 8 – Hilo rojo | |
| | Salida 9 – Hilo negro | |
| | Salida 10 | Reserva |
| | Salida 11 | |
| | Salida 12 | |
| | Salida 13 | |
| | Salida 14 | |
| | Salida 15 – Hilo gris | FD01-MT03-A16-6H |
| | Salida 16 – Hilo blanco | |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

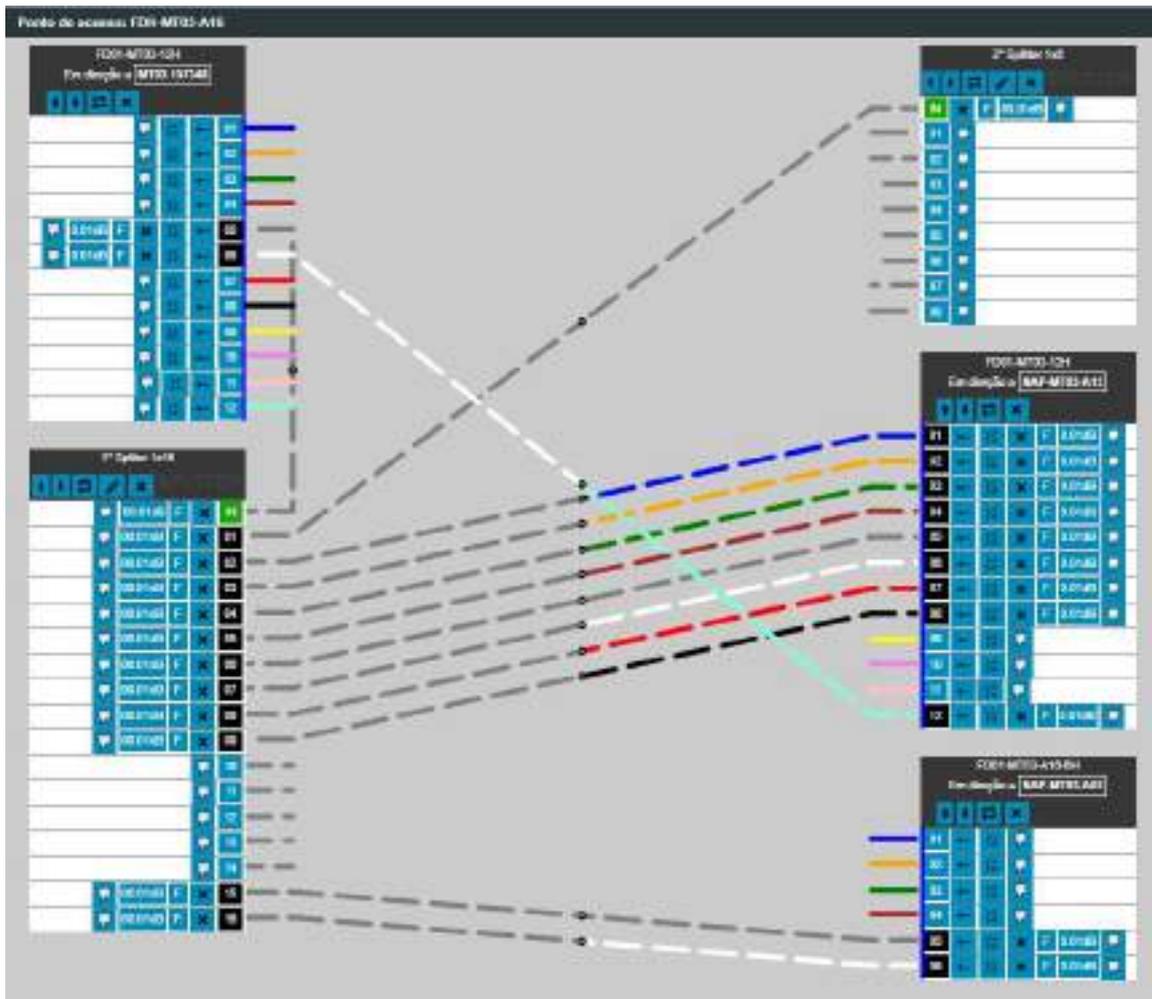


Figura 21-2: Armario de distribución de fibra FDH-MT03-A16

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el segundo armario FDH-MT03-B08 ingresa la fibra de distribución FD01-MT03-12H, en donde el hilo celeste anteriormente hilo blanco fusionado en el armario FDH-MT03-A16 proveniente de la manga MT03, se fusiona con el 1º splitter 1:8. De las 8 salidas del splitter, la salida 1 se fusiona con el 2º splitter 1:8 y las 7 salidas restantes son destinadas a 7 cajas NAPs donde se realiza el 2º nivel de splitter 1:8, de modo que las salidas de la 2 a la 6 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 1 al 5 de la fibra de distribución FD01-MT03-B08-8H y las salidas 7 y 8 se fusionan con los hilos de 5 y 6 de la fibra de distribución FD03-MT03-B08-6H.

En la tabla 22-2 y en la figura 22-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en el segundo armario FDH-MT03-B08 de la zona Gatazo Zambrano.

Tabla 22-2: Conexiones del armario FDH-MT03-B08

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|--------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| FD01-MT03-12H | Hilo celeste – Entrada 1° Splitter 8 | 8 salidas |
| Splitter 1° 1:8 (8 salidas) | Salida 1 - Entrada 2° Splitter 1:8 | 8 salidas |
| | Salida 2 - Hilo azul | FD01-MT03-B08-8H |
| | Salida 3 – Hilo naranja | |
| | Salida 4 – Hilo verde | |
| | Salida 5 – Hilo café | |
| | Salida 6 – Hilo gris | |
| | Salida 7 – Hilo gris | |
| | Salida 8 – Hilo blanco | FD03-MT03-B08-6H |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

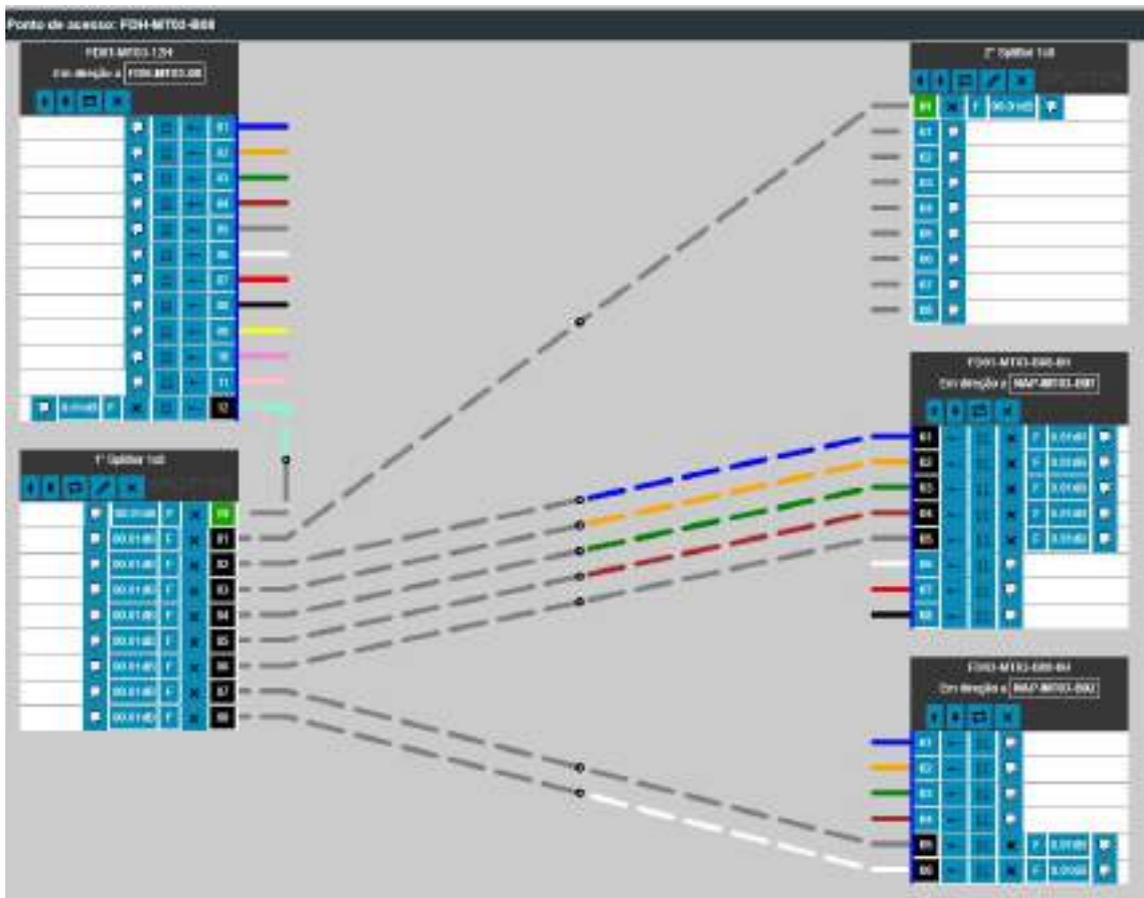


Figura 22-2: Armario de distribución de fibra FDH-MT03-B08

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el tercer armario FDH-MT03-C08 ingresa la fibra de distribución FD02-MT03-12H, en donde el hilo rojo proveniente de la manga MT03 se fusiona con el 1° splitter 1:8. De las 8 salidas del splitter, la salida 8 se fusiona con el 2° splitter 1:8 y las 7 salidas restantes son destinadas a 7 cajas

NAPs donde se realiza el 2° nivel de splitter 1:8, de modo que las salidas de la 1 a la 7 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 1 al 7 de la fibra de distribución FD02-MT03-12H.

En la tabla 23-2 y en la figura 23-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en el tercer armario FDH-MT03-C08 de la zona Gatazo Zambrano.

Tabla 23-2: Conexiones del armario FDH-MT03-C08

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| FD02-MT03-12H | Hilo rojo – Entrada 1° Splitter 8 | 8 salidas |
| Splitter 1° 1:8 (8 salidas) | Salida 1 - Hilo azul | FD02-MT03-12H |
| | Salida 2 - Hilo naranja | |
| | Salida 3 – Hilo verde | |
| | Salida 4 – Hilo café | |
| | Salida 5 – Hilo gris | |
| | Salida 6 – Hilo blanco | |
| | Salida 7 – Hilo rojo | |
| | Salida 8 – 2° Splitter 1:8 | 8 salidas |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

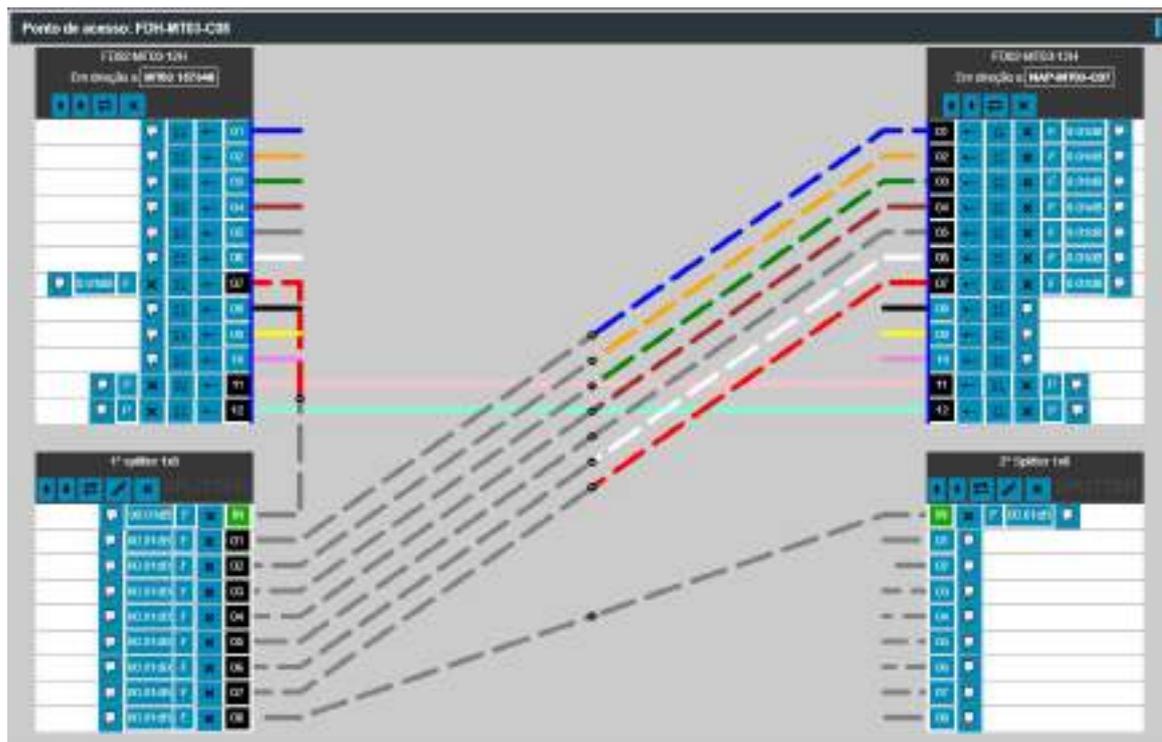


Figura 23-2: Armario de distribución de fibra FDH-MT03-C08

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

2.5.3.4. Zona Gatazo Grande

Para proveer de cobertura a toda la zona Gatazo Grande se ubican 4 armarios de distribución de fibra como se muestra en la figura 24-2, el armario FDH-MT04-A08 de color negro habilita la serie A conformada por 7 cajas NAPs de color negro, el armario FDH-MT04-B08 de color amarillo habilita la serie B conformada por 6 cajas NAPs de color amarillo, el armario FDH-MT04-C08 de color lila habilita la serie C conformada por 7 cajas NAPs de color lila y por último el armario FDH-MT04-D08 de color rosado habilita la serie D conformada por 7 cajas NAPs de color rosado.

En esta zona tanto para el 1° y 2° nivel de splitter se utiliza una relación de división 1:8.



Figura 24-2: Red de Distribución en la zona Gatazo Grande

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el primer armario FDH-MT04-A08 ingresa la fibra de distribución FD01-MT04-B08-12H proveniente del segundo armario FDH.MT04-B08 y este a su vez de la manga MT04, en donde el hilo negro se fusiona con el 1° splitter 1:8. De las 8 salidas del splitter, la salida 8 se fusiona con el 2° splitter 1:8 y las 7 salidas restantes son destinadas a 7 cajas NAPs donde se realiza el 2°

nivel de splitter 1:8, de modo que las salidas de la 1 a la 7 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 1 al 7 de fibra de distribución FD01-MT04-B08-12H.

En la tabla 24-2 y en la figura 25-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en el primer armario FDH-MT04-A08 de la zona Gatazo Grande.

Tabla 24-2: Conexiones del armario FDH-MT04-A08

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|--------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| FD01-MT04-B08-12H | Hilo negro – Entrada 1° Splitter 8 | 8 salidas |
| Splitter 1° 1:8 (8 salidas) | Salida 1 - Hilo azul | FD01-MT04-B08-12H |
| | Salida 2 - Hilo naranja | |
| | Salida 3 – Hilo verde | |
| | Salida 4 – Hilo café | |
| | Salida 5 – Hilo gris | |
| | Salida 6 – Hilo blanco | |
| | Salida 7 – Hilo rojo | |
| | Salida 8 – 2° Splitter 1:8 | 8 salidas |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

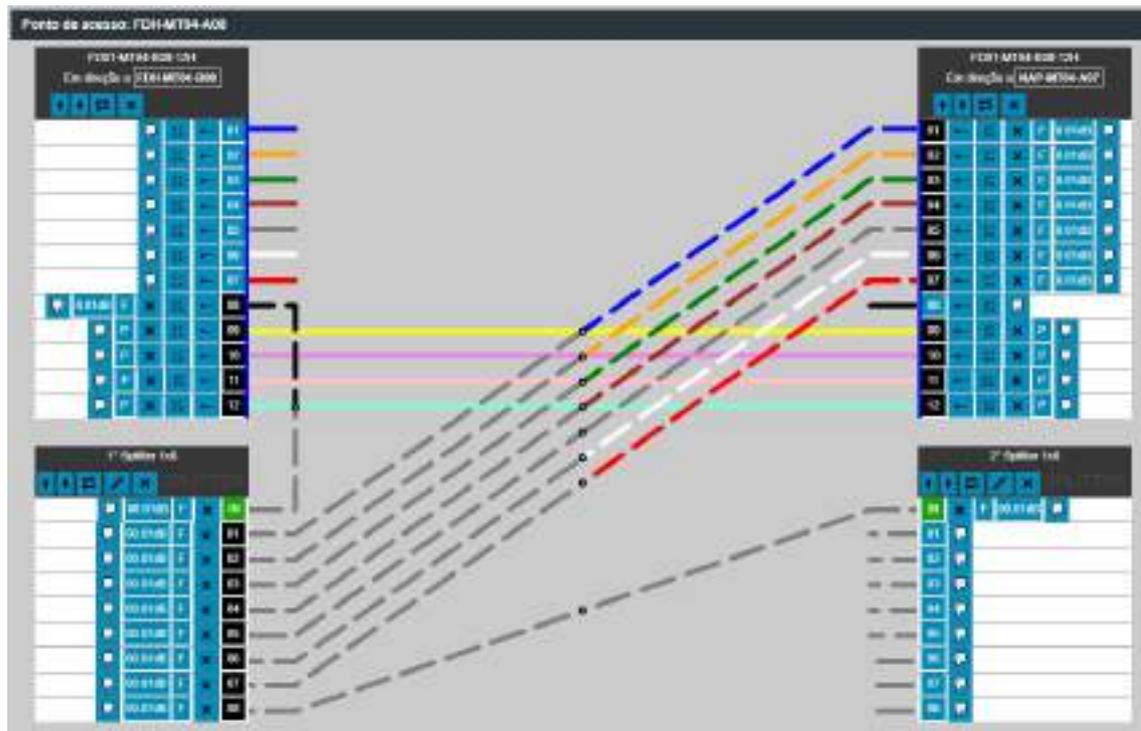


Figura 25-2: Armario de distribución de fibra FDH-MT04-A08

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el segundo armario FDH-MT04-B08 ingresa la derivación de fibra troncal FT01-MT04-12H proveniente de la manga MT04, en donde el hilo negro se fusiona al hilo negro de la fibra de distribución FD01-MT04-B08-12H que habilitara el primer armario FDH-MT04-A08, mientras que el hilo amarillo se fusiona con el 1° splitter 1:8.

De las 8 salidas del splitter, la salida 8 se fusiona con el 2° splitter 1:8 y las 7 salidas restantes son destinadas a 7 cajas NAPs donde se realiza el 2° nivel de splitter 1:8, de modo que las salidas de la 2 a la 7 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 2 al 7 de la fibra de distribución FD02-MT04-B08-12H, quedando la salida 1 de reserva para habilitar una futura caja NAP.

En la tabla 25-2 y en la figura 26-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en el segundo armario FDH-MT04-B08 de la zona Gatazo Grande

Tabla 25-2: Conexiones del armario FDH-MT04-B08

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| FT01-MT04-12H | Hilo negro – Hilo negro | FD01-MT04-B08-12H |
| | Hilo amarillo – Entrada 1° Spliiter 8 | 8 salidas |
| Splitter 1° 1:8 (8 salidas) | Salida 1 | Reserva |
| | Salida 2 - Hilo naranja | FD02-MT04-B08-12H |
| | Salida 3 – Hilo verde | |
| | Salida 4 – Hilo café | |
| | Salida 5 – Hilo gris | |
| | Salida 6 – Hilo blanco | |
| | Salida 7 – Hilo rojo | |
| | Salida 8 – 2° Splitter 1:8 | 8 salidas |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

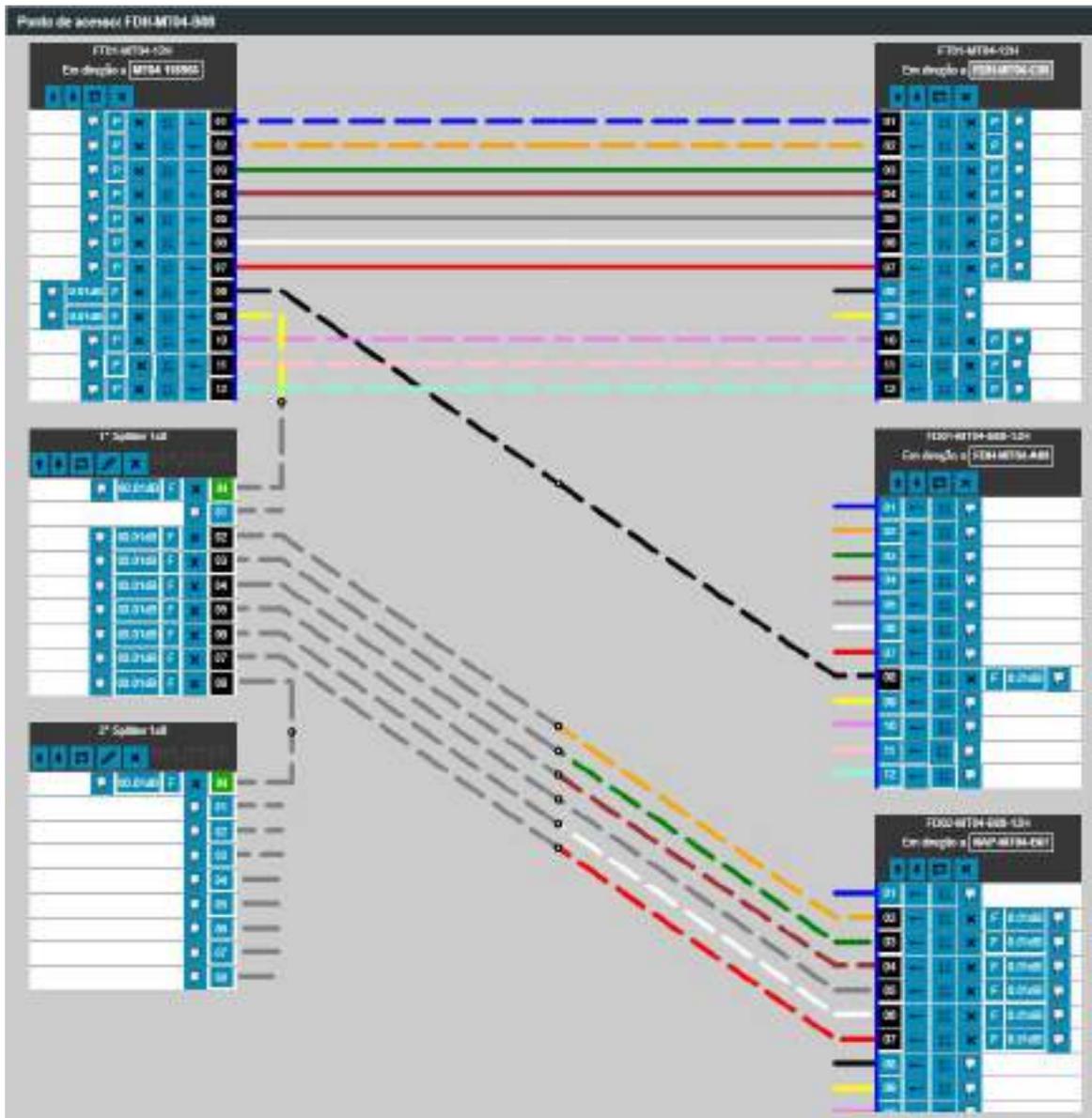


Figura 26-2: Armario de distribución de fibra FDH-MT04-B08

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el tercer armario FDH-MT04-C08 ingresa la derivación de fibra troncal FT01-MT04-12H proveniente del segundo armario FDH-MT04-B08 y este a su vez de la manga MT04, el hilo lila se fusiona con el 1° splitter 1:8. De las 8 salidas del splitter, la salida 8 se fusiona con el 2° splitter 1:8 y las 7 salidas restantes son destinadas a 7 cajas NAPs, de modo que las salidas de la 1 a la 4 se fusionan con los hilos del 1 al 4 de la fibra FD01-MT04-C08-8H y las salidas de la 5 a la 7 se fusionan con los hilos del 1 al 3 de la fibra FD03-MT04-C08-6H.

En la tabla 26-2 y en la figura 27-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en el tercer armario FDH-MT04-C08 de la zona Gatazo Grande.

Tabla 26-2: Conexiones del armario FDH-MT04-C08

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| FT01-MT04-12H | Hilo lila – Entrada 1° Splitter 8 | 8 salidas |
| Splitter 1° 1:8 (8 salidas) | Salida 1 - Hilo azul | FD01-MT04-C08-8H |
| | Salida 2 - Hilo naranja | |
| | Salida 3 – Hilo verde | |
| | Salida 4 – Hilo café | |
| | Salida 5 – Hilo azul | FD03-MT04-C08-6H |
| | Salida 6 – Hilo naranja | |
| | Salida 7 – Hilo verde | |
| | Salida 8 – 2° Splitter 1:8 | |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.



Figura 27-2: Armario de distribución de fibra FDH-MT04-C08

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el cuarto armario FDH-MT04-D08 ingresa la derivación de fibra troncal FT01-MT04-12H proveniente del tercer armario FDH.MT04-C08 y este a su vez de la manga MT04, el hilo rosado

se fusiona con el 1° splitter 1:8. De las 8 salidas del splitter, la salida 8 se fusiona con el 2° splitter 1:8 y las 7 salidas restantes son destinadas a 7 cajas NAPs donde se realiza el 2° nivel de splitter 1:8, de modo que las salidas de la 1 a la 7 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 3 al 9 de la derivación de fibra troncal FT01-MT04-12H.

En la tabla 27-2 y en la figura 28-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en el cuarto armario FDH-MT04-D08 de la zona Gatazo Grande.

Tabla 27-2: Conexiones del armario FDH-MT04-D08

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|--------------------------------|-------------------------------------|------------------|
| FT01-MT04-12H | Hilo rosado – Entrada 1° Splitter 8 | 8 salidas |
| Splitter 1° 1:8 (8 salidas) | Salida 1 - Hilo verde | FT01-MT04-12H |
| | Salida 2 - Hilo café | |
| | Salida 3 – Hilo gris | |
| | Salida 4 – Hilo blanco | |
| | Salida 5 – Hilo rojo | |
| | Salida 6 – Hilo negro | |
| | Salida 7 – Hilo amarillo | |
| | Salida 8 – 2° Splitter 1:8 | 8 salidas |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

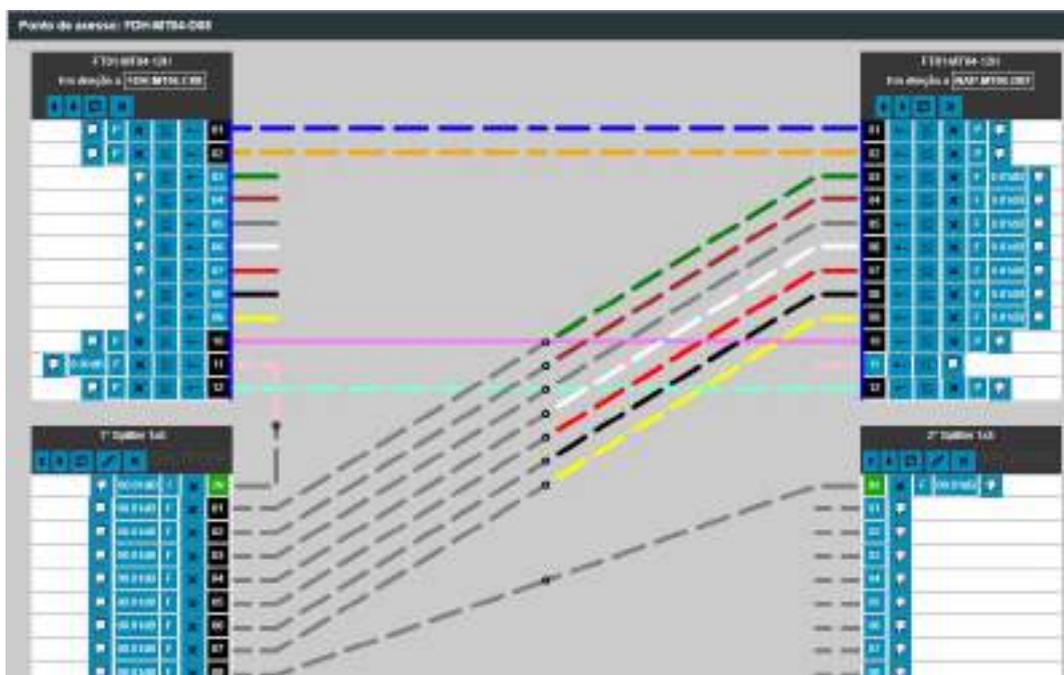


Figura 28-2: Armario de distribución de fibra FDH-MT04-D08

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

2.5.3.5. Zona Gatazo Chico

Para proveer de cobertura a toda la zona Gatazo Chico se ubican 3 armarios de distribución de fibra como se muestra en la figura 29-2, el armario FDH-MT04-E08 de color celeste habilita la serie E conformada por 7 cajas NAPs de color celeste, el armario FDH-MT04-F08 de color azul habilita la serie F conformada por 7 cajas NAPs de color azul y por último el armario FDH-MT04-G08 de color naranja habilita la serie G conformada por 7 cajas NAPs de color naranja

En esta zona tanto para el 1° y 2° nivel de splitter se utiliza una relación de división 1:8.

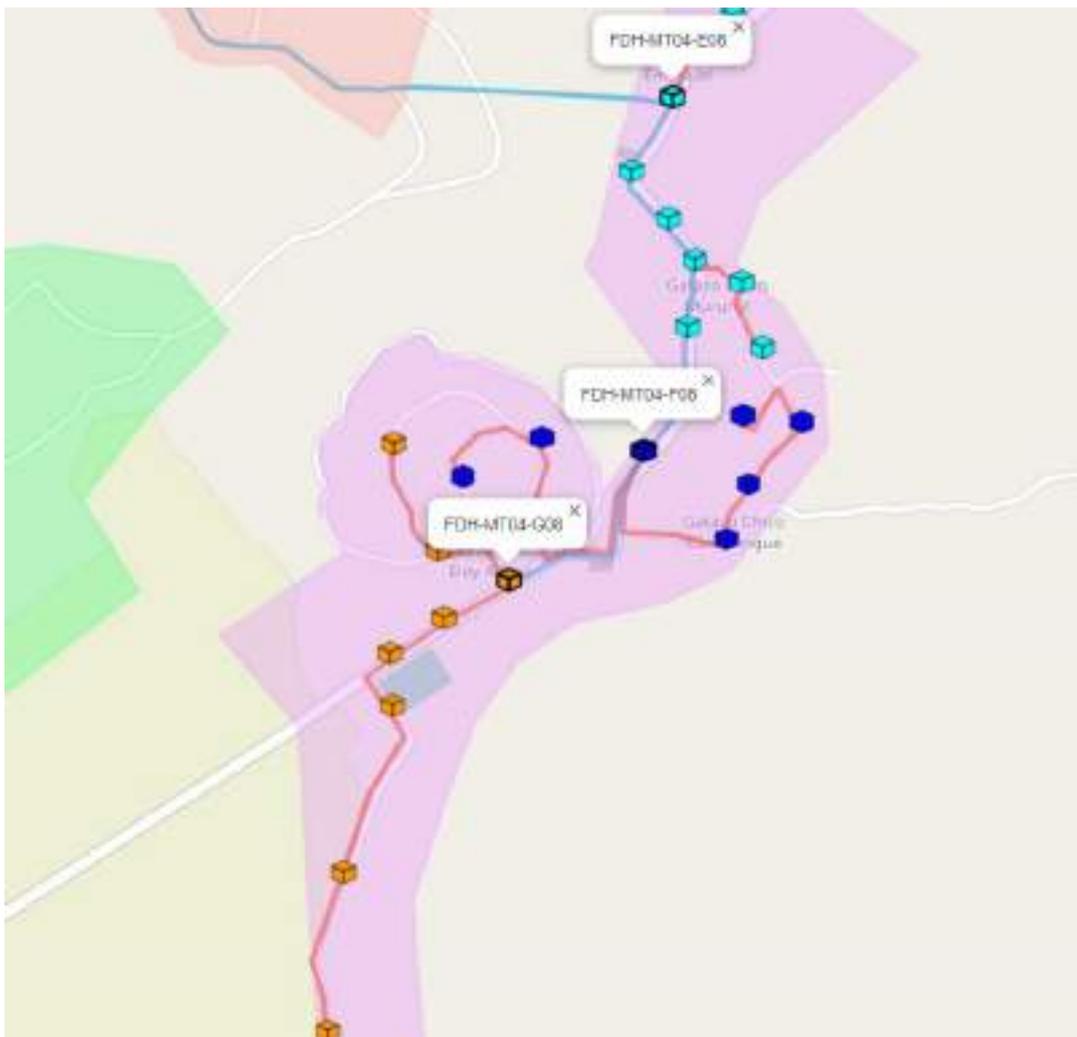


Figura 29-2: Red de Distribución en la zona Gatazo Chico

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el primer armario FDH-MT04-E08 ingresa la derivación de fibra troncal FT01-MT04-12H proveniente de la manga troncal MT04 ubicado en Gatazo Grande, en donde el hilo celeste se fusiona con un 1° splitter 1:8. De las 8 salidas del splitter, la salida 8 se fusiona con el 2° splitter 1:8 y las 7 salidas restantes son destinadas a 7 cajas NAPs donde se realiza el 2° nivel de splitter

1:8, de modo que las salidas de la 1 a la 6 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 5 al 11 de la derivación de fibra troncal FT01-MT04-12H y la salida 7 se fusiona con el hilo 1 de la fibra de distribución FD05-MT04-E08-8H.

En la tabla 28-2 y en la figura 30-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en el primer armario FDH-MT04-E08 de la zona Gatazo Chico.

Tabla 28-2: Conexiones del armario FDH-MT04-E08

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|--------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| FT01-MT04-12H | Hilo celeste – Entrada 1° Splitter 8 | 8 salidas |
| Splitter 1° 1:8 (8 salidas) | Salida 1 - Hilo blanco | FT01-MT04-12H |
| | Salida 2 - Hilo rojo | |
| | Salida 3 – Hilo negro | |
| | Salida 4 – Hilo amarillo | |
| | Salida 5 – Hilo lila | |
| | Salida 6 – Hilo rosado | |
| | Salida 7 – Hilo azul | FD05-MT04-E08-8H |
| | Salida 8 – 2° Splitter 1:8 | 8 salidas |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

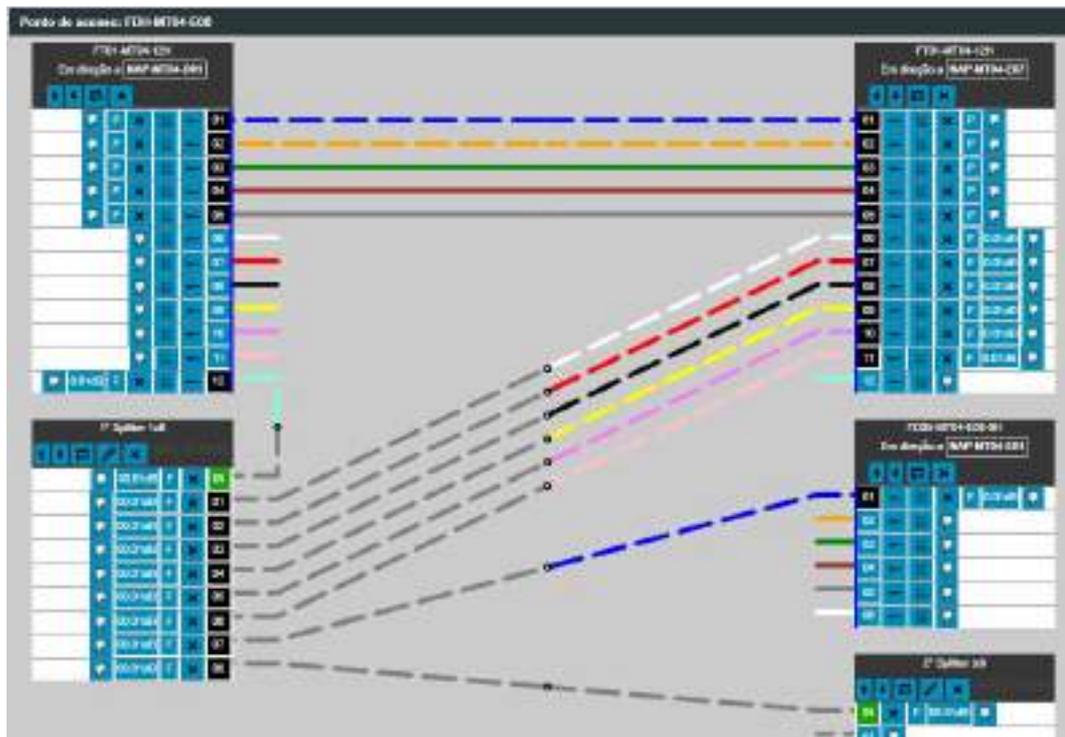


Figura 30-2: Armario de distribución de fibra FDH-MT04-E08

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el segundo armario FDH-MT04-F08 ingresa la derivación de fibra troncal FT01-MT04-12H proveniente del primer armario FDH-MT04-E08 y esta a su vez de la manga troncal MT04 , en donde el hilo azul se fusiona con un 1° splitter 1:8. De las 8 salidas del splitter, la salida 8 se fusiona con el 2° splitter 1:8 y las 7 salidas restantes son destinadas a 7 cajas NAPs donde se realiza el 2° nivel de splitter 1:8, de modo que las salidas de la 1 a la 4 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 1 al 4 de la fibra de distribución FD07-MT04-F08-6H y las salidas de la 5 a la 7 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 1 al 3 de la fibra de distribución FD08-MT04-F08-6H.

En la tabla 29-2 y en la figura 31-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en el segundo armario FDH-MT04-F08 de la zona Gatazo Chico.

Tabla 29-2: Conexiones del armario FDH-MT04-F08

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|--------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| FT01-MT04-12H | Hilo azul – Entrada 1° Spliiter 8 | 8 salidas |
| Splitter 1° 1:8 (8 salidas) | Salida 1 - Hilo azul | FD07-MT04-F08-6H |
| | Salida 2 - Hilo naranja | |
| | Salida 3 – Hilo verde | |
| | Salida 4 – Hilo café | |
| | Salida 5 – Hilo azul | FD08-MT04-F08-6H |
| | Salida 6 – Hilo naranja | |
| | Salida 7 – Hilo verde | |
| | Salida 8 – 2° Splitter 1:8 | 8 salidas |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

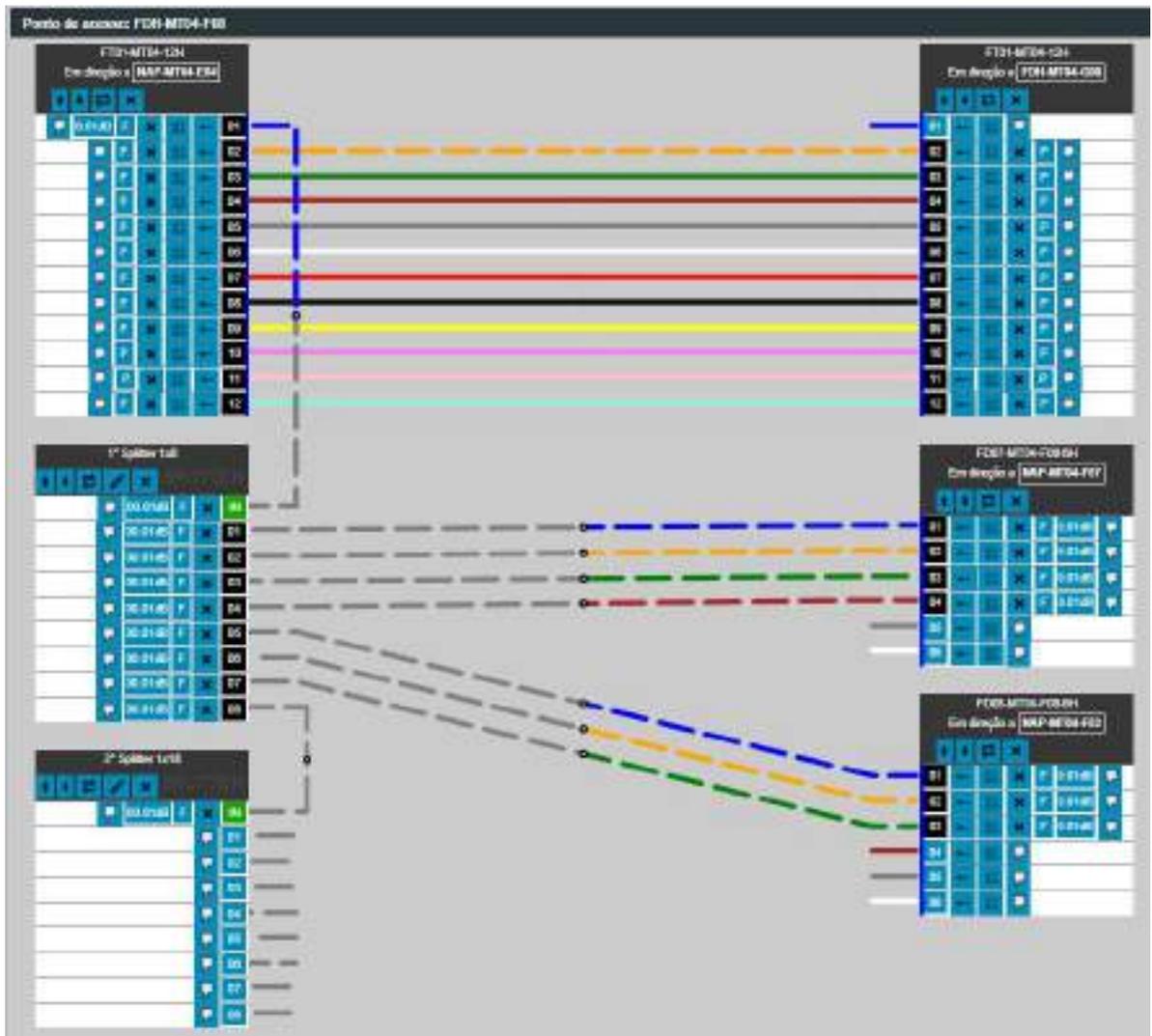


Figura 31-2: Armario de distribución de fibra FDH-MT04-F08

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

En el tercer y último armario FDH-MT04-G08 ingresa la derivación de fibra troncal FT01-MT04-12H proveniente del segundo armario FDH-MT04-F08 y esta a su vez de la manga troncal MT04, en donde el hilo naranja se fusiona con un 1º splitter 1:8. De las 8 salidas del spliter, la salida 8 se fusiona con el 2º splitter 1:8 y las 7 salidas restantes son destinadas a 7 NAPs donde se realiza el 2º nivel de splitter 1:8, de modo que las salidas de la 1 y 2 se fusionan con los hilos del 1 y 2 de fibra de distribución FD09-MT04-G08-6H y del mismo modo las salidas de la 3 a la 7 se fusionan de manera secuencial con los hilos del 1 al 5 de la fibra de distribución FD10-MT04-G08-6H.

En la tabla 30-2 y en la figura 32-2 se detalla y se puede observar las conexiones realizadas entre los hilos respectivos de los cables de fibra óptica que intervienen en el tercer y último armario FDH-MT04-G08 de la zona Gatazo Chico.

Tabla 30-2: Conexiones del armario FDH-MT04-G08

| Cable entrada | Hilos Fusionados | Cables de salida |
|--------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| FT01-MT04-12H | Hilo naranja – Entrada 1° Splitter 8 | 8 salidas |
| Splitter 1° 1:8 (8 salidas) | Salida 1 - Hilo azul | FD09-MT04-G08-6H |
| | Salida 2 - Hilo naranja | |
| | Salida 3 – Hilo azul | FD10-MT04-G08-6H |
| | Salida 4 – Hilo naranja | |
| | Salida 5 – Hilo verde | |
| | Salida 6 – Hilo café | |
| | Salida 7 – Hilo gris | |
| | Salida 8 – 2° Splitter 1:8 | 8 salidas |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.



Figura 32-2: Armario de distribución de fibra FDH-MT04-G08

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

2.5.4. Red de dispersión

Los segmentos de red de dispersión comienzan a partir de las cajas NAPs donde se realiza el 2° nivel de splitter con una relación de división 1:8, las salidas de los splitter se fusionan a cables fibra óptica tipo Drop de 2 hilos hasta llegar a la roseta óptica y de manera seguida conectar al equipo ONT, ambos ubicados en el domicilio del cliente.

En la tabla 31-2: se detalla la cantidad de cajas NAPs y el número de usuarios proyectados para cada una de las comunidades de Gatazo.

Tabla 31-2: Cantidad de Cajas NAPs y Usuarios

| Zona | Cantidad de NAPs | N° Usuarios |
|-----------------------|-------------------------|--------------------|
| Gatazo Hospital | 30 | 240 |
| Gatazo Elena Zambrano | 29 | 232 |
| Gatazo Zambrano | 24 | 192 |
| Gatazo Grande | 27 | 216 |
| Gatazo Chico | 21 | 168 |
| TOTAL | 131 | 1048 |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Como se mencionó anteriormente en el diseño de la red FTTH propuesto un armario FDH también se considera una caja NAP, debido a que en los 14 FDHs existentes en la red se realiza tanto el 1° y 2° nivel de splitteo, y al utilizar siempre para el 2° nivel de splitteo una relación de splitter 1:8 se debe considerar 8 usuarios más por cada FDH, por lo tanto existe un incremento de 112 usuarios más, obteniendo una total de 1160 usuarios en toda la red.

2.6. Presupuesto óptico

El presupuesto óptico es un cálculo mediante el cual se puede determinar la atenuación total existente en el sistema de comunicación óptico, por lo tanto engloba la atenuación de todos los elementos ópticos entre el equipo OLT y ONT. Para realizar los cálculos del presupuesto óptico de la red FTTH-GPON propuesta se consideró el siguiente modelo de red que se aprecia en la figura 33-2.

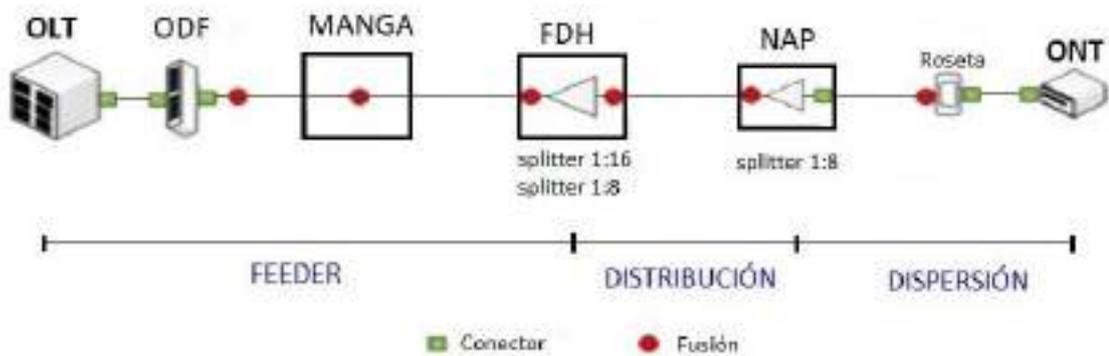


Figura 33-2: Diagrama de la red propuesta

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Como se observa en la figura 33-2 para el presupuesto óptico se tomaron en cuenta valores de atenuación de splitters de 1:16 o 1:8 para el 1° nivel de splitteo y únicamente de splitters de 1:8 para el 2° nivel de splitteo, además de valores de atenuación de un total 6 conectores y 6 fusiones y finalmente el valor de atenuación de la fibra óptica para longitudes de onda de 1310nm y 1490 nm. Los valores de atenuación de la red mencionados se detallan en la tabla 9-2 de los parámetros de diseño.

El cálculo del presupuesto óptico se realizó en sentido downstream (1490 nm), tanto para el usuario más cercano y el usuario más lejano de cada una de las 5 zonas de Gatazo, mediante la siguiente formula:

$$\alpha_{Total} = \alpha_{splitter1} + \alpha_{splitter2} + \alpha_{conectores} + \alpha_{fusiones} + \alpha_{fibra}$$

Donde:

$$\alpha_{Total} = \text{Atenuación Total}$$

$$\alpha_{splitter1} = \text{Atenuación 1° nivel de splitter}$$

$$\alpha_{splitter2} = \text{Atenuación 2° nivel de splitter}$$

$$\alpha_{conectores} = \text{Atenuación de conectores}$$

$$\alpha_{fusiones} = \text{Atenuación de fusiones}$$

$$\alpha_{fibra} = \text{Atenuación de fibra optica}$$

Según la recomendación ITU-T G.984.2 el rango de atenuación máxima de la Red de Distribución Óptica (ODN) de clase B+ es 28dB, por lo tanto el presupuesto óptico del diseño de la red propuesta no debe sobrepasar dicho valor.

2.6.1. *Presupuesto óptico de la zona Gatazo Hospital*

En toda la zona Gatazo Hospital se utilizó un splitter 1:16 para el 1° nivel de splitteo y un splitter 1:8 para el 2° nivel.

2.6.1.1. *Cálculo de usuario más cercano de la zona Gatazo Hospital*

El usuario más cercano de la zona de Gatazo Hospital se encuentra aproximadamente a 1,85 km de distancia del equipo OLT, el servicio para el usuario más cercano es habilitado por el armario FDH-MT01-B16.

$$\alpha_{Total} = \alpha_{splitter1} + \alpha_{splitter2} + \alpha_{conectores} + \alpha_{fusiones} + \alpha_{fibra}$$

$$\alpha_{Total} = 13,7dB + 10,5dB + (6conc * 0,25dB) + (6fus * 0,1dB) + \left(0,35 \frac{dB}{km} * 1,85km\right)$$

$$\alpha_{Total} = 13,7dB + 10,5dB + 1,5dB + 0,6 dB + 0,647dB$$

$$\alpha_{Total} = 26,947dB$$

2.6.1.2. *Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Hospital*

El usuario más lejano de la zona de Gatazo Hospital se encuentra aproximadamente a 3,607 km de distancia del equipo OLT, el servicio para el usuario más lejano es habilitado por la caja NAP-MT01-B07.

$$\alpha_{Total} = \alpha_{splitter1} + \alpha_{splitter2} + \alpha_{conectores} + \alpha_{fusiones} + \alpha_{fibra}$$

$$\alpha_{Total} = 13,7dB + 10,5dB + (6conec * 0,25dB) + (6fus * 0,1dB) + \left(0,35 \frac{dB}{km} * 3,607km\right)$$

$$\alpha_{Total} = 13,7dB + 10,5dB + 1,5dB + 0,6dB + 1,262dB$$

$$\alpha_{Total} = 27,562 dB$$

2.6.2. *Presupuesto óptico de la zona Gatazo Elena Zambrano*

En toda la zona Gatazo Elena Zambrano se utilizó un splitter 1:16 para el 1° nivel de splitteo y un splitter 1:8 para el 2° nivel.

2.6.2.1. Cálculo de usuario más cercano de la zona Gatazo Elena Zambrano

El usuario más cercano de la zona de Gatazo Elena Zambrano se encuentra aproximadamente a 3,047 km de distancia del equipo OLT, el servicio para el usuario más cercano es habilitado por el armario FDH-MT02-A16.

$$\alpha_{Total} = \alpha_{splitter1} + \alpha_{splitter2} + \alpha_{conectores} + \alpha_{fusiones} + \alpha_{fibra}$$

$$\alpha_{Total} = 13,7dB + 10,5dB + (6conec * 0,25dB) + (6fus * 0,1dB) + \left(0,35 \frac{dB}{km} * 3,047km\right)$$

$$\alpha_{Total} = 13,7dB + 10,5dB + 1,5dB + 0,6 dB + 1,066dB$$

$$\alpha_{Total} = 27,366dB$$

2.6.2.2. Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Elena Zambrano

El usuario más lejano de la zona de Gatazo Elena Zambrano se encuentra aproximadamente a 4,833 km de distancia del equipo OLT, el servicio para el usuario más lejano es habilitado por la caja NAP-MT02-B02.

$$\alpha_{Total} = \alpha_{splitter1} + \alpha_{splitter2} + \alpha_{conectores} + \alpha_{fusiones} + \alpha_{fibra}$$

$$\alpha_{Total} = 13,7dB + 10,5dB + (6conec * 0,25dB) + (6fus * 0,1dB) + \left(0,35 \frac{dB}{km} * 4,833km\right)$$

$$\alpha_{Total} = 13,7dB + 10,5dB + 1,5dB + 0,6dB + 1,691dB$$

$$\alpha_{Total} = 27,991dB$$

2.6.3. Presupuesto óptico de la zona Gatazo Zambrano

En la zona Gatazo Zambrano se utilizó un splitter 1:16 para el 1° nivel de splitteo y un splitter 1:8 para el 2° nivel en la primera serie A de distribución, donde se encuentra el usuario más cercano. Mientras que para las 2 siguientes series de distribución B y C se utilizó splitter 1:8 tanto para el 1° y 2° nivel de splitteo, garantizando el rango de atenuación máximo de la ODN clase B+.

2.6.3.1. Cálculo de usuario más cercano de la zona Gatazo Zambrano

El usuario más cercano de la zona de Gatazo Zambrano se encuentra aproximadamente a 4,030 km de distancia del equipo OLT, el servicio para el usuario más cercano es habilitado por el armario FDH-MT03-A16.

$$\alpha_{Total} = \alpha_{splitter1} + \alpha_{splitter2} + \alpha_{conectores} + \alpha_{fusiones} + \alpha_{fibra}$$

$$\alpha_{Total} = 13,7dB + 10,5dB + (6conec * 0,25dB) + (6fus * 0,1dB) + \left(0,35 \frac{dB}{km} * 4,030km\right)$$

$$\alpha_{Total} = 13,7dB + 10,5dB + 1,5dB + 0,6 dB + 1,41dB$$

$$\alpha_{Total} = 27,71dB$$

2.6.3.2. Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Zambrano

El usuario más lejano de la zona de Gatazo Zambrano se encuentra aproximadamente a 5,749 km de distancia del equipo OLT, el servicio para el usuario más lejano es habilitado por la caja NAP-MT03-B03.

$$\alpha_{Total} = \alpha_{splitter1} + \alpha_{splitter2} + \alpha_{conectores} + \alpha_{fusiones} + \alpha_{fibra}$$

$$\alpha_{Total} = 10,5dB + 10,5dB + (6conec * 0,25dB) + (6fus * 0,1dB) + \left(0,35 \frac{dB}{km} * 5,749km\right)$$

$$\alpha_{Total} = 10,5dB + 10,5dB + 1,5dB + 0,6dB + 2,012dB$$

$$\alpha_{Total} = 25,112dB$$

2.6.4. Presupuesto óptico de la zona Gatazo Grande

En toda la zona Gatazo Grande se utilizó un splitter 1:8 tanto para el 1° y 2° nivel de splitteo.

2.6.4.1. Cálculo de usuario más cercano de la zona Gatazo Grande

El usuario más cercano de la zona de Gatazo Grande se encuentra aproximadamente a 5,781 km de distancia del equipo OLT, el servicio para el usuario más cercano es habilitado por el armario FDH-MT04-B08.

$$\alpha_{Total} = \alpha_{splitter1} + \alpha_{splitter2} + \alpha_{conectores} + \alpha_{fusiones} + \alpha_{fibra}$$

$$\alpha_{Total} = 10,5dB + 10,5dB + (6conec * 0,25dB) + (6fus * 0,1dB) + \left(0,35 \frac{dB}{km} * 5,781km\right)$$

$$\alpha_{Total} = 10,5dB + 10,5dB + 1,5dB + 0,6 dB + 2,023dB$$

$$\alpha_{Total} = 25,123dB$$

2.6.4.2. Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Grande

El usuario más lejano de la zona de Gatazo Grande se encuentra aproximadamente a 6,925 km de distancia del equipo OLT, el servicio para el usuario más lejano es habilitado por la caja NAP-MT04-D01.

$$\alpha_{Total} = \alpha_{splitter1} + \alpha_{splitter2} + \alpha_{conectores} + \alpha_{fusiones} + \alpha_{fibra}$$

$$\alpha_{Total} = 10,5dB + 10,5dB + (6conec * 0,25dB) + (6fus * 0,1dB) + \left(0,35 \frac{dB}{km} * 6,925km\right)$$

$$\alpha_{Total} = 10,5dB + 10,5dB + 1,5dB + 0,6dB + 2,423dB$$

$$\alpha_{Total} = 25,523 dB$$

2.6.5. Presupuesto óptico de la zona Gatazo Chico

En toda la zona Gatazo Chico se utilizó un splitter 1:8 tanto para el 1° y 2° nivel de splitteo.

2.6.5.1. Cálculo de usuario más cercano de la zona Gatazo Chico

El usuario más cercano de la zona de Gatazo Chico se encuentra aproximadamente a 7,426 km de distancia del equipo OLT, el servicio para el usuario más cercano es habilitado por el armario FDH-MT04-E08.

$$\alpha_{Total} = \alpha_{splitter1} + \alpha_{splitter2} + \alpha_{conectores} + \alpha_{fusiones} + \alpha_{fibra}$$

$$\alpha_{Total} = 10,5dB + 10,5dB + (6conec * 0,25dB) + (6fus * 0,1dB) + \left(0,35 \frac{dB}{km} * 7,426km\right)$$

$$\alpha_{Total} = 10,5dB + 10,5dB + 1,5dB + 0,6 dB + 2,599dB$$

$$\alpha_{Total} = 25,699dB$$

2.6.5.2. Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Chico

El usuario más lejano de la zona de Gatazo Chico se encuentra aproximadamente a 9,81 km de distancia del equipo OLT, el servicio para el usuario más lejano es habilitado por la caja NAP-MT04-G01.

$$\alpha_{Total} = \alpha_{splitter1} + \alpha_{splitter2} + \alpha_{conectores} + \alpha_{fusiones} + \alpha_{fibra}$$

$$\alpha_{Total} = 10,5dB + 10,5dB + (6conec * 0,25dB) + (6fus * 0,1dB) + \left(0,35 \frac{dB}{km} * 9,81km\right)$$

$$\alpha_{Total} = 10,5dB + 10,5dB + 1,5dB + 0,6dB + 3,434dB$$

$$\alpha_{Total} = 26,534 dB$$

2.7. Balance de potencia

El balance de potencia es una estimación de ganancias y pérdidas del sistema de comunicación óptico, incluyendo el equipo transmisor (OLT) y receptor (ONT), mediante el cálculo del balance de potencia podemos determinar si la comunicación de la red diseñada será exitosa o no.

Para garantizar una recepción adecuada de los equipos, en el balance de potencia se debe tomar en cuenta la diferencia entre la potencia de transmisión y la atenuación total obtenida en la red, además se considera un margen de seguridad, el cual es pérdida adicional en caso de que se generen eventos de atenuación inesperados (curvatura, rotura o doblez de la fibra óptica), valor que permite resguardar el buen funcionamiento de la red de comunicación.

El cálculo del balance de potencia de la red FTTH-GPON se realizó para el usuario más cercano y el usuario más lejano de cada una de las 5 zonas de Gatazo, mediante la siguiente fórmula:

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \alpha_{Total} - M_s$$

Donde: P_{Rx} = Potencia óptica mínima del receptor (Sensibilidad)

P_{Tx} = Potencia óptica máxima del transmisor

α_{Total} = Atenuación total en el medio óptico

M_s = Margen de seguridad

Para una red GPON clase B+, la recomendación ITU-T G.984.2 establece el valor de potencia de recepción óptica mínima o sensibilidad del ONT de -27dBm y sensibilidad del OLT de -28dBm, el valor de potencia de emisión máxima del OLT y ONT de 5dB y recomienda un margen de seguridad de 3dB, valores mencionados se detallan en la tabla 9-2.

Por consiguiente el valor resultante de Potencia de recepción obtenido del balance de potencias no debe sobrepasar el valor de sensibilidad de recepción del equipo ONT

2.7.1. Balance de Potencia Zona Gatazo Hospital

2.7.1.1. Cálculo usuario más cercano de la zona Gatazo Hospital

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \alpha_{Total} - M_s$$

$$P_{Rx} = 5dBm - 26,947dB - 3dB$$

$$P_{Rx} = -24,947 dBm$$

2.7.1.2. *Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Hospital*

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \alpha_{Total} - M_s$$

$$P_{Rx} = 5dBm - 27,562dB - 3dB =$$

$$P_{Rx} = -25,562 dBm$$

2.7.2. Balance de Potencia Zona Gatazo Elena Zambrano

2.7.2.1. *Cálculo usuario más cercano de la zona Gatazo Elena Zambrano*

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \alpha_{Total} - M_s$$

$$P_{Rx} = 5dBm - 27,366dB - 3dB$$

$$P_{Rx} = -25,366 dBm$$

2.7.2.2. *Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Elena Zambrano*

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \alpha_{Total} - M_s$$

$$P_{Rx} = 5dBm - 27,991dB - 3dB =$$

$$P_{Rx} = -25,991 dBm$$

2.7.3. Balance de Potencia Zona Gatazo Zambrano

2.7.3.1. *Cálculo usuario más cercano de la zona Gatazo Zambrano*

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \alpha_{Total} - M_s$$

$$P_{Rx} = 5dBm - 27,71dB - 3dB$$

$$P_{Rx} = -25,71 dBm$$

2.7.3.2. *Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Zambrano*

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \alpha_{Total} - M_s$$

$$P_{Rx} = 5dBm - 25,112dB - 3dB =$$

$$P_{Rx} = -23,112 dBm$$

2.7.4. Balance de Potencia Zona Gatazo Grande

2.7.4.1. Cálculo usuario más cercano de la zona Gatazo Grande

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \alpha_{Total} - M_s$$

$$P_{Rx} = 5dBm - 25,123dB - 3dB$$

$$P_{Rx} = -23,123 dBm$$

2.7.4.2. Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Grande

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \alpha_{Total} - M_s$$

$$P_{Rx} = 5dBm - 25,523dB - 3dB =$$

$$P_{Rx} = -23,523 dBm$$

2.7.5. Balance de Potencia Zona Gatazo Chico

2.7.5.1. Cálculo usuario más cercano de la zona Gatazo Chico

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \alpha_{Total} - M_s$$

$$P_{Rx} = 5dBm - 25,699dB - 3dB$$

$$P_{Rx} = -23,699 dBm$$

2.7.5.2. Cálculo usuario más lejano de la zona Gatazo Chico

$$P_{Rx} = P_{Tx} - \alpha_{Total} - M_s$$

$$P_{Rx} = 5dBm - 26,534dB - 3dB =$$

$$P_{Rx} = -24,534 dBm$$

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS

3.1. Análisis de factibilidad de la red

Mediante el estudio de factibilidad se verificar la existencia de un total de 153 postes involucrados en la ruta de la fibra troncal, detalles como el número de identificación, la ubicación y el tipo de herraje a utilizar en cada poste se detallan a continuación en la tabla 3-1.

Tabla 1-3: Postes de la ruta de fibra Troncal

| Nº | Poste | Coordenadas | Herraje | Nº | Poste | Coordenadas | Herraje |
|----|--------|---------------------|---------|----|--------|---------------------|---------|
| 1 | 29976 | -1.69910, -78.76770 | A | 78 | 137055 | -1.66690, -78.75680 | A |
| 2 | PM2 | -1.69875, -78.76782 | A | 79 | 150577 | -1.66710, -78.75660 | A |
| 3 | PM1 | -1.69803, -78.76817 | A | 80 | 151705 | -1.66700, -78.75630 | A |
| 4 | 12012 | -1.69784, -78.76841 | A | 81 | 101657 | -1.66700, -78.75620 | A |
| 5 | 12011 | -1.69772, -78.76853 | A | 82 | 118097 | -1.66680, -78.75590 | A |
| 6 | 12010 | -1.69753, -78.76873 | A | 83 | 118096 | -1.66620, -78.75580 | A |
| 7 | 168488 | -1.69744, -78.76866 | A | 84 | 118095 | -1.66550, -78.75560 | A |
| 8 | 12006 | -1.69740, -78.76890 | A | 85 | 174061 | -1.66510, -78.75550 | A |
| 9 | 166694 | -1.69699, -78.76839 | A | 86 | 201755 | -1.66480, -78.75540 | A |
| 10 | 12447 | -1.69667, -78.76826 | A | 87 | 177470 | -1.66440, -78.75500 | A |
| 11 | 166691 | -1.69649, -78.76816 | A | 88 | 118093 | -1.66410, -78.75470 | A |
| 12 | 12434 | -1.69630, -78.76810 | A | 89 | 173453 | -1.66370, -78.75430 | A |
| 13 | 166695 | -1.69600, -78.76800 | A | 90 | 173466 | -1.66360, -78.75390 | A |
| 14 | 12041 | -1.69580, -78.76790 | A | 91 | 173454 | -1.66290, -78.75360 | A |
| 15 | 12042 | -1.69560, -78.76780 | A | 92 | 118091 | -1.66260, -78.75340 | A |
| 16 | 12044 | -1.69530, -78.76770 | A | 93 | 173465 | -1.66260, -78.75330 | A |
| 17 | 12045 | -1.69480, -78.76752 | A | 94 | 173452 | -1.66220, -78.75290 | A |
| 18 | 117813 | -1.69440, -78.76740 | A | 95 | 118090 | -1.66180, -78.75270 | A |
| 19 | 140007 | -1.69430, -78.76750 | A | 96 | 173451 | -1.66140, -78.75250 | B |
| 20 | 140006 | -1.69400, -78.76750 | A | 97 | 174079 | -1.66110, -78.75230 | A |

Tabla 1-3: Postes de la ruta de fibra Troncal (Continuación)

| | | | | | | | |
|----|--------|---------------------|---|-----|--------|---------------------|---|
| 21 | 140005 | -1.69370, -78.76740 | A | 98 | 173450 | -1.66090, -78.75200 | A |
| 22 | 140004 | -1.69350, -78.76740 | B | 99 | 173441 | -1.66070, -78.75170 | A |
| 23 | 140003 | -1.69320, -78.76730 | B | 100 | 174078 | -1.66040, -78.75150 | A |
| 24 | 140002 | -1.69270, -78.76730 | A | 101 | 173472 | -1.66010, -78.75120 | A |
| 25 | 140001 | -1.69230, -78.76720 | A | 102 | 173470 | -1.65970, -78.75100 | B |
| 26 | 40000 | -1.69201, -78.76716 | A | 103 | 180765 | -1.65930, -78.75070 | A |
| 27 | 140008 | -1.69180, -78.76700 | A | 104 | 180758 | -1.65900, -78.75060 | A |
| 28 | 140009 | -1.69150, -78.76670 | A | 105 | 180757 | -1.65870, -78.75040 | A |
| 29 | 140010 | -1.69127, -78.76625 | A | 106 | 180756 | -1.65840, -78.75020 | A |
| 30 | 140012 | -1.69105, -78.76602 | A | 107 | 176164 | -1.65820, -78.74980 | A |
| 31 | 140013 | -1.69080, -78.76584 | A | 108 | 176163 | -1.65790, -78.74950 | A |
| 32 | 140014 | -1.69040, -78.76560 | A | 109 | 118973 | -1.65780, -78.74930 | A |
| 33 | 140025 | -1.69020, -78.76510 | A | 110 | 118972 | -1.65750, -78.74920 | A |
| 34 | 140024 | -1.69000, -78.76490 | B | 111 | 118971 | -1.65720, -78.74900 | A |
| 35 | 140023 | -1.68990, -78.76450 | B | 112 | 118970 | -1.65690, -78.74870 | A |
| 36 | 140022 | -1.68970, -78.76430 | A | 113 | 118968 | -1.65660, -78.74850 | A |
| 37 | 105165 | -1.68960, -78.76410 | A | 114 | 118967 | -1.65630, -78.74830 | A |
| 38 | 12146 | -1.68910, -78.76410 | A | 115 | 118966 | -1.65610, -78.74800 | A |
| 39 | 12150 | -1.68860, -78.76390 | A | 116 | 118965 | -1.65580, -78.74780 | A |
| 40 | 115270 | -1.68790, -78.76330 | A | 117 | 118964 | -1.65550, -78.74760 | A |
| 41 | 98491 | -1.68730, -78.76210 | A | 118 | 7419 | -1.65530, -78.74750 | A |
| 42 | 119241 | -1.68680, -78.76210 | A | 119 | 118963 | -1.65510, -78.74730 | A |
| 43 | 119242 | -1.68650, -78.76200 | B | 120 | 118952 | -1.65490, -78.74710 | A |
| 44 | 193705 | -1.68610, -78.76180 | A | 121 | 118947 | -1.65460, -78.74680 | A |
| 45 | 160894 | -1.68580, -78.76170 | A | 122 | 118946 | -1.65440, -78.74650 | A |
| 46 | 119307 | -1.68540, -78.76160 | A | 123 | 118945 | -1.65420, -78.74610 | A |
| 47 | 119308 | -1.68510, -78.76140 | A | 124 | 118944 | -1.65400, -78.74580 | A |
| 48 | 119309 | -1.68467, -78.76128 | A | 125 | 118943 | -1.65370, -78.74560 | A |
| 49 | 119310 | -1.68430, -78.76110 | A | 126 | 118942 | -1.65350, -78.74530 | A |
| 50 | 180499 | -1.68391, -78.76095 | A | 127 | 118941 | -1.65330, -78.74510 | A |
| 51 | 119312 | -1.68364, -78.76087 | A | 128 | 118940 | -1.65290, -78.74460 | A |
| 52 | 119313 | -1.68330, -78.76070 | A | 129 | 118939 | -1.65260, -78.74430 | A |
| 53 | 119314 | -1.68293, -78.76057 | A | 130 | 118937 | -1.65210, -78.74420 | A |
| 54 | 119315 | -1.68256, -78.76043 | A | 131 | 118936 | -1.65170, -78.74390 | A |

Tabla 1-3: Postes de la ruta de fibra Troncal (Continuación)

| | | | | | | | |
|----|--------|---------------------|---|-----|--------|---------------------|---|
| 55 | 119317 | -1.68161, -78.76005 | A | 132 | 118935 | -1.65180, -78.74350 | A |
| 56 | 119318 | -1.68100, -78.75970 | A | 133 | 118934 | -1.65170, -78.74340 | A |
| 57 | 119319 | -1.68070, -78.75960 | B | 134 | 118938 | -1.65160, -78.74400 | A |
| 58 | 101644 | -1.68060, -78.75950 | A | 135 | 118933 | -1.65150, -78.74360 | A |
| 59 | 101645 | -1.67940, -78.75910 | A | 136 | 118932 | -1.65120, -78.74390 | A |
| 60 | 101646 | -1.67850, -78.75880 | A | 137 | 118931 | -1.65120, -78.74440 | A |
| 61 | 101647 | -1.67750, -78.75860 | A | 138 | 118930 | -1.65120, -78.74480 | A |
| 62 | 101648 | -1.67650, -78.75840 | A | 139 | 118929 | -1.65110, -78.74510 | A |
| 63 | 12194 | -1.67620, -78.75830 | A | 140 | 118928 | -1.65080, -78.74530 | A |
| 64 | 124786 | -1.67592, -78.75831 | A | 141 | 118927 | -1.65030, -78.74540 | A |
| 65 | 101649 | -1.67540, -78.75820 | B | 142 | 118926 | -1.65020, -78.74510 | A |
| 66 | 7271 | -1.67498, -78.75809 | B | 143 | 118925 | -1.65000, -78.74490 | A |
| 67 | 187577 | -1.67418, -78.75793 | A | 144 | 118924 | -1.64960, -78.74470 | A |
| 68 | 193707 | -1.67410, -78.75790 | A | 145 | 118923 | -1.64980, -78.74450 | A |
| 69 | 101651 | -1.67310, -78.75770 | A | 146 | 184747 | -1.64990, -78.74410 | A |
| 70 | 101652 | -1.67210, -78.75750 | A | 147 | 184746 | -1.64980, -78.74360 | A |
| 71 | 101653 | -1.67110, -78.75730 | A | 148 | 118922 | -1.64970, -78.74320 | A |
| 72 | 173782 | -1.67050, -78.75720 | A | 149 | 107786 | -1.64970, -78.74280 | A |
| 73 | 101654 | -1.67010, -78.75710 | A | 150 | 18921 | -1.64970, -78.74260 | A |
| 74 | 101655 | -1.66900, -78.75690 | A | 151 | 173460 | -1.64930, -78.74240 | A |
| 75 | 101656 | -1.66820, -78.75680 | A | 152 | 118920 | -1.64910, -78.74250 | A |
| 76 | 157369 | -1.66790, -78.75680 | A | 153 | 11180 | -1.64890, -78.74240 | A |
| 77 | 157348 | -1.66750, -78.75690 | B | | | | |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.A

Del total de 153 postes, en 142 se eligió utilizar herraje tipo A y en 11 herraje tipo B para garantizar un despliegue exitoso de la fibra. Por lo tanto, se puede afirmar que la ruta de la red de fibra óptica propuesta en este proyecto resultará factible una vez se decida su implementación.

3.2. Evaluación de resultados de la red

El software TOMODAT2 además de diseño georreferenciado de la red permite utilizar la función de medición de potencia en cualquier elemento de la red ya sea en la OLT, Manga, FDH o NAP. A continuación se indicará la potencia de emisión del OLT y la potencia de recepción del ONT tanto para el usuario más cercano como para el más lejano de cada una de las zonas de Gatazo.

3.2.1. Potencias de emisión OLT

En la figura 1-3 se muestra la potencia de salida de los 14 puertos del OLT a utilizar en el diseño completo de la red para el sector Gatazo, cada puerto cuenta con un valor 5 dBm de potencia con la que la señal óptica será transmitida hasta llegar a la ONT del usuario final.

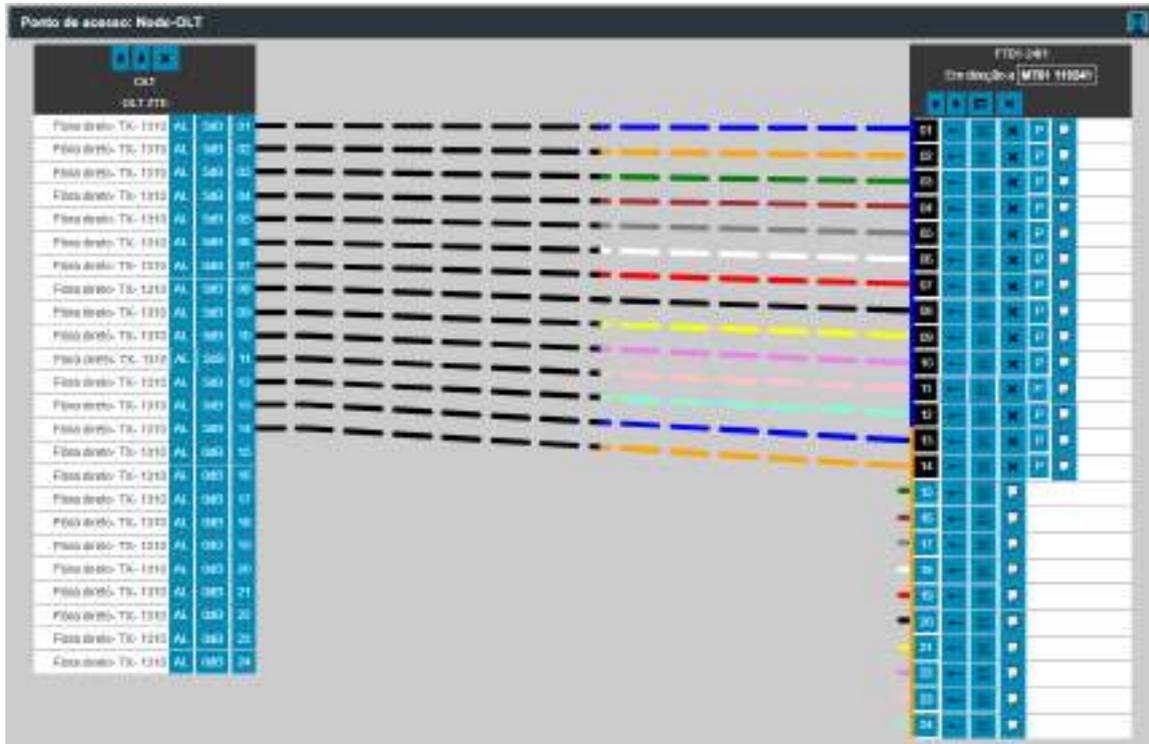


Figura 1-3: Potencia de emisión de los puertos del OLT

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

3.2.2. Resultados de la zona Gatazo Hospital

3.2.2.1. Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de la zona Gatazo Hospital

El servicio para el usuario más cercano de la zona de Gatazo Hospital es habilitado por el armario FDH-MT01-B16, el cual está habilitado por el hilo naranja del buffer 1 que está conectado al puerto 2 del equipo OLT.

En la figura 2-3 se indica la potencia final recibida por el usuario más cercano con un valor de -21,948 dBm, comprado con el valor teórico calculado sin incluir el margen de seguridad que fue de -21,947 dBm, se obtiene una diferencia de -0,001 dBm entre el valor simulado y calculado. Por lo tanto, el resultado obtenido es óptimo al ser mayor que el valor de sensibilidad de -27 dBm del equipo ONT de clase B+ establecido en el estándar ITU-T G.984.2.

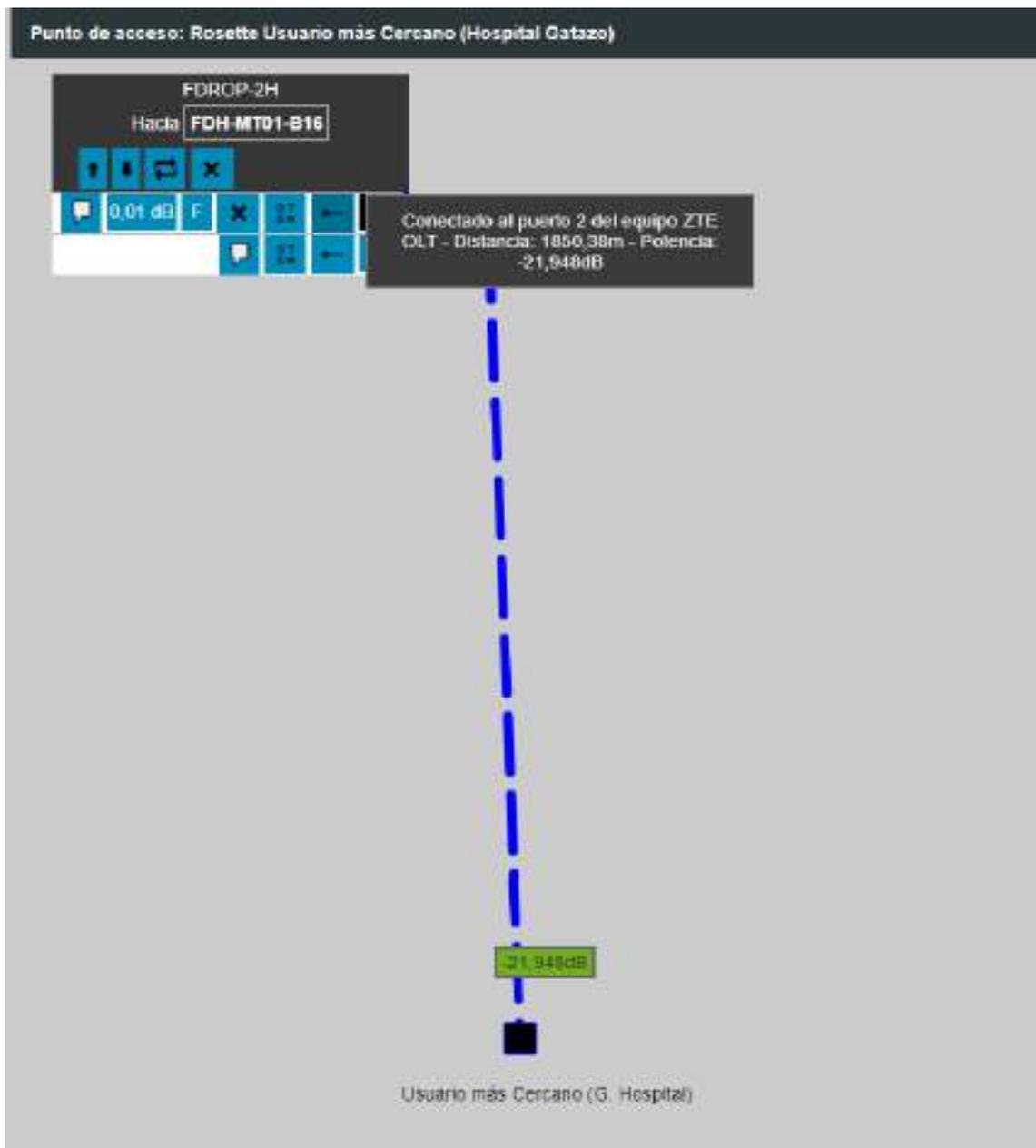


Figura 2-3: Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de zona Gatazo Hospital

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Mediante la función OTDR de software TOMODAT2 se puede visualizar un diagrama de los elementos ópticos desde la ubicación del OLT hasta la ubicación de la roseta óptica del usuario más cercano en la zona de Gatazo Hospital, detallando información sobre el puerto del OLT que habilita el servicio al usuario, distancia del enlace óptico y potencia de recepción del equipo ONT, como se aprecia en la figura 3-3.

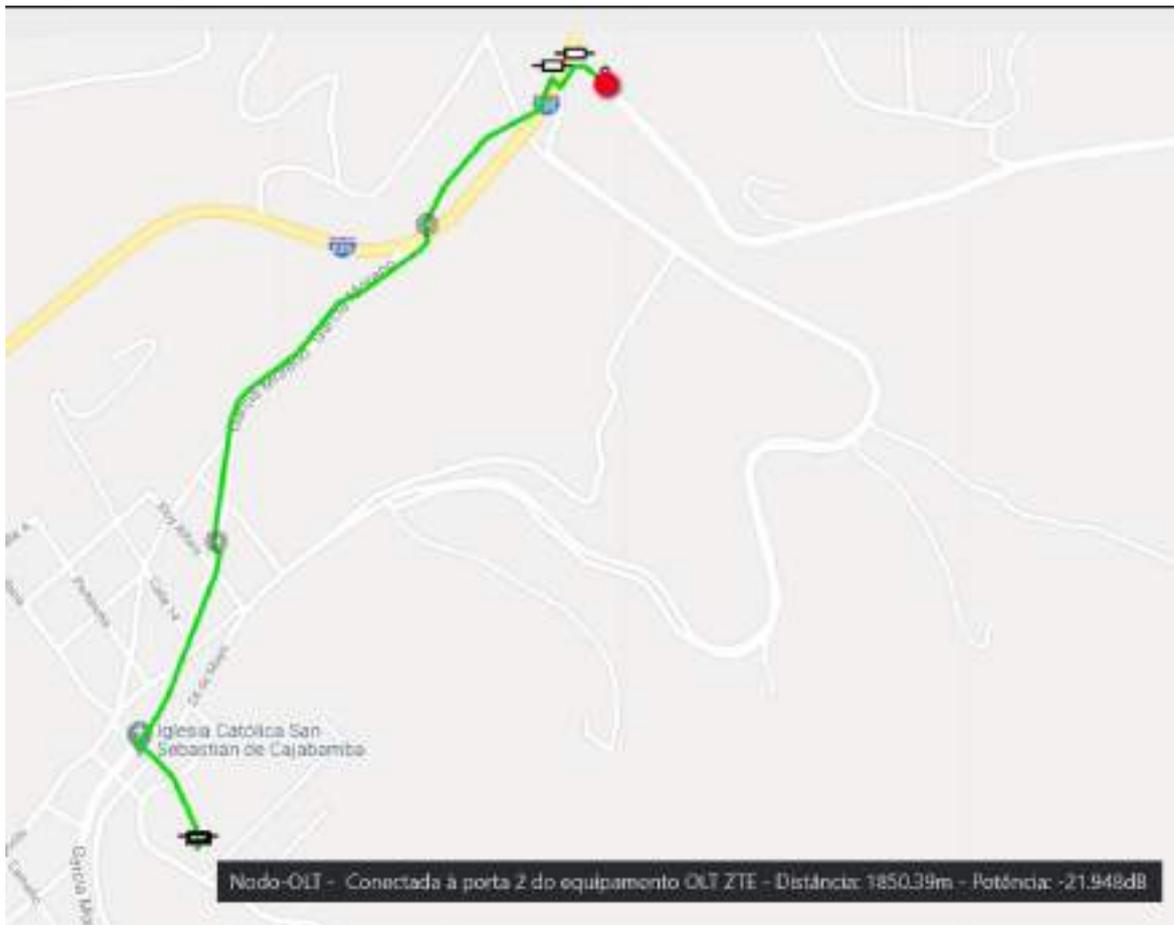


Figura 3-3: Diagrama del enlace óptico del usuario más cercano de zona Gatazo Hospital

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

3.2.2.2. Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de la zona Gatazo Hospital

El servicio para el usuario más lejano de la zona de Gatazo Hospital es habilitado por la caja NAP-MT01-B07, la cual está habilitada por el hilo naranja del buffer 1 que está conectado al puerto 2 del equipo OLT.

En la figura 4-3 se indica la potencia final recibida por el usuario más lejano con un valor de -22,572 dBm, comprado con el valor teórico calculado sin incluir el margen de seguridad que fue de -22,562 dBm, se obtiene una diferencia de -0,01 dBm entre el valor simulado y calculado. Por lo tanto, el resultado obtenido es óptimo al ser mayor que el valor de sensibilidad de -27 dBm del equipo ONT de clase B+ establecido en el estándar ITU-T G.984.2.

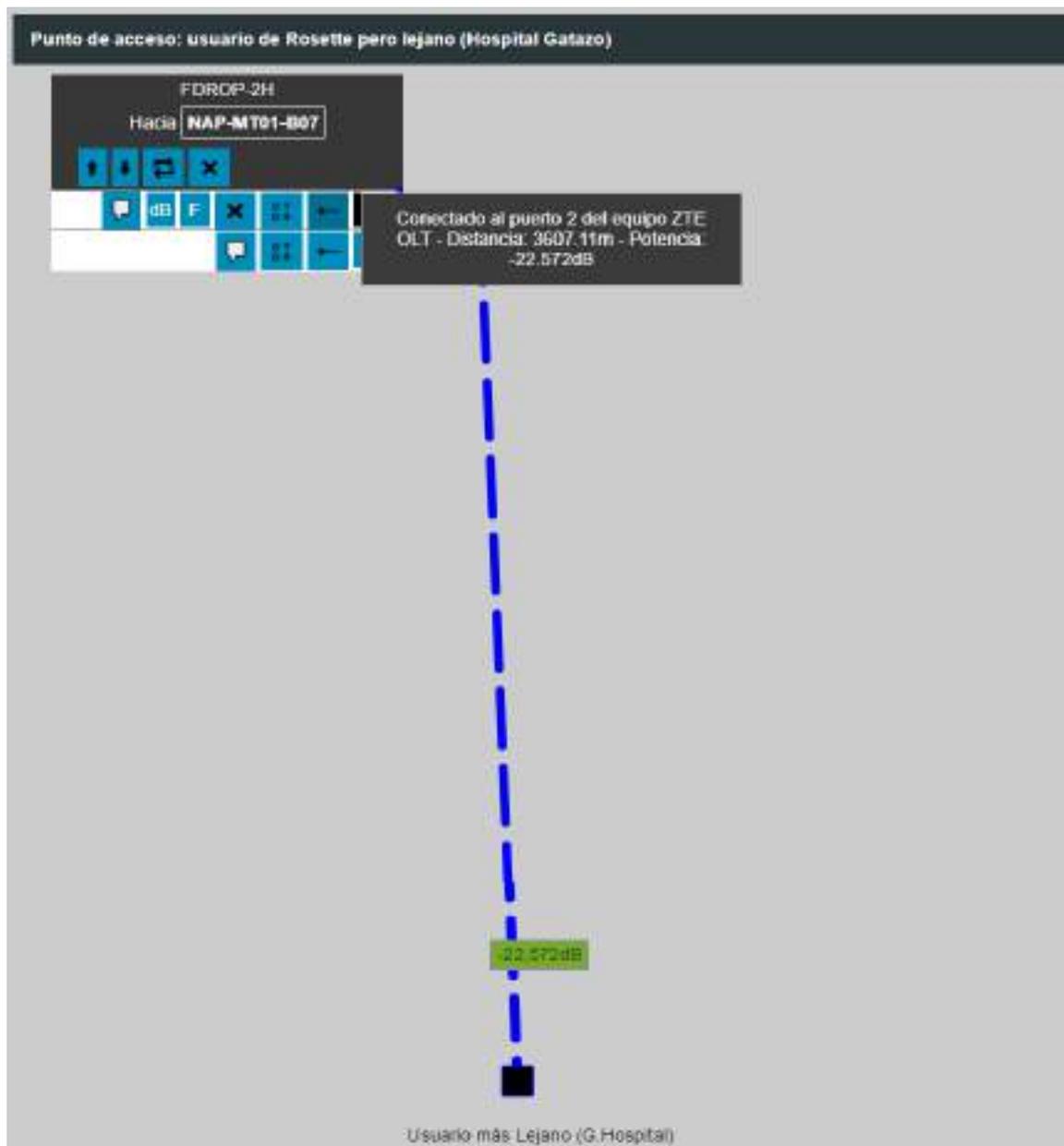


Figura 4-3: Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de zona Gatazo Hospital

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Mediante la función OTDR de software TOMODAT2 se puede visualizar un diagrama de los elementos ópticos desde la ubicación del OLT hasta la ubicación de la roseta óptica del usuario más lejano en la zona de Gatazo Chico, detallando información sobre el puerto que habilita el servicio al usuario, distancia del enlace óptico y potencia de recepción del equipo ONT, como se aprecia en la figura 5-3.

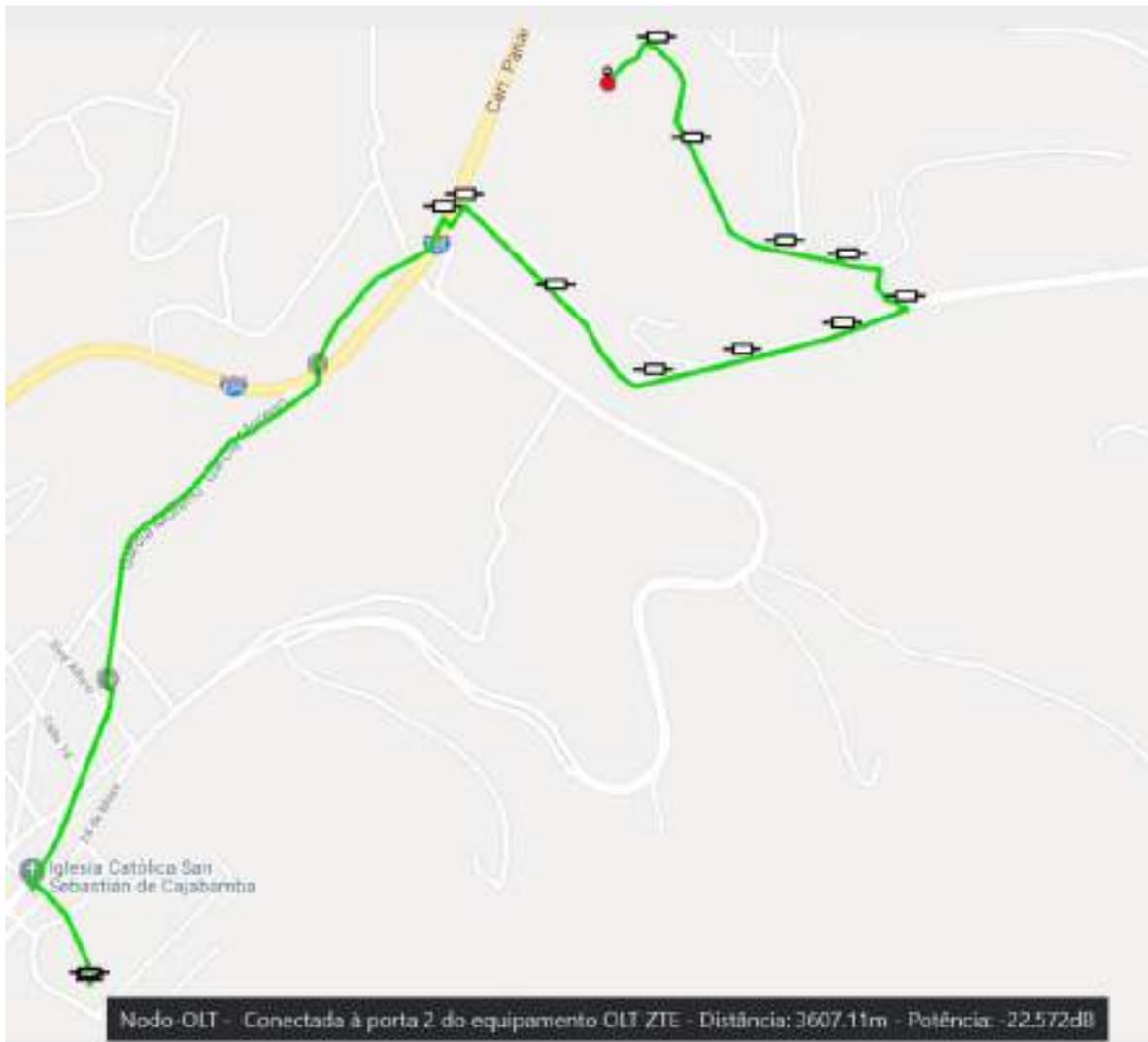


Figura 5-3: Diagrama del enlace óptico del usuario más lejano de zona Gatazo Hospital

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

3.2.3. Resultados de la zona Gatazo Elena Zambrano

3.2.3.1. Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de Gatazo. Elena Zambrano

El servicio para el usuario más cercano de la zona de Gatazo Elena Zambrano es habilitado por el armario FDH-MT02-A16, el cual está habilitado por el hilo verde del buffer 1 que está conectado al puerto 3 del equipo OLT.

En la figura 6-3 se indica la potencia final recibida por el usuario más cercano con un valor de -22,367 dBm, comprado con el valor teórico calculado sin incluir el margen de seguridad que fue de -22,366 dBm, se obtiene una diferencia de -0,001 dBm entre el valor simulado y calculado. Por lo tanto, el resultado obtenido es óptimo al ser mayor que el valor de sensibilidad de -27 dBm del equipo ONT de clase B+ establecido en el estándar ITU-T G.984.2.

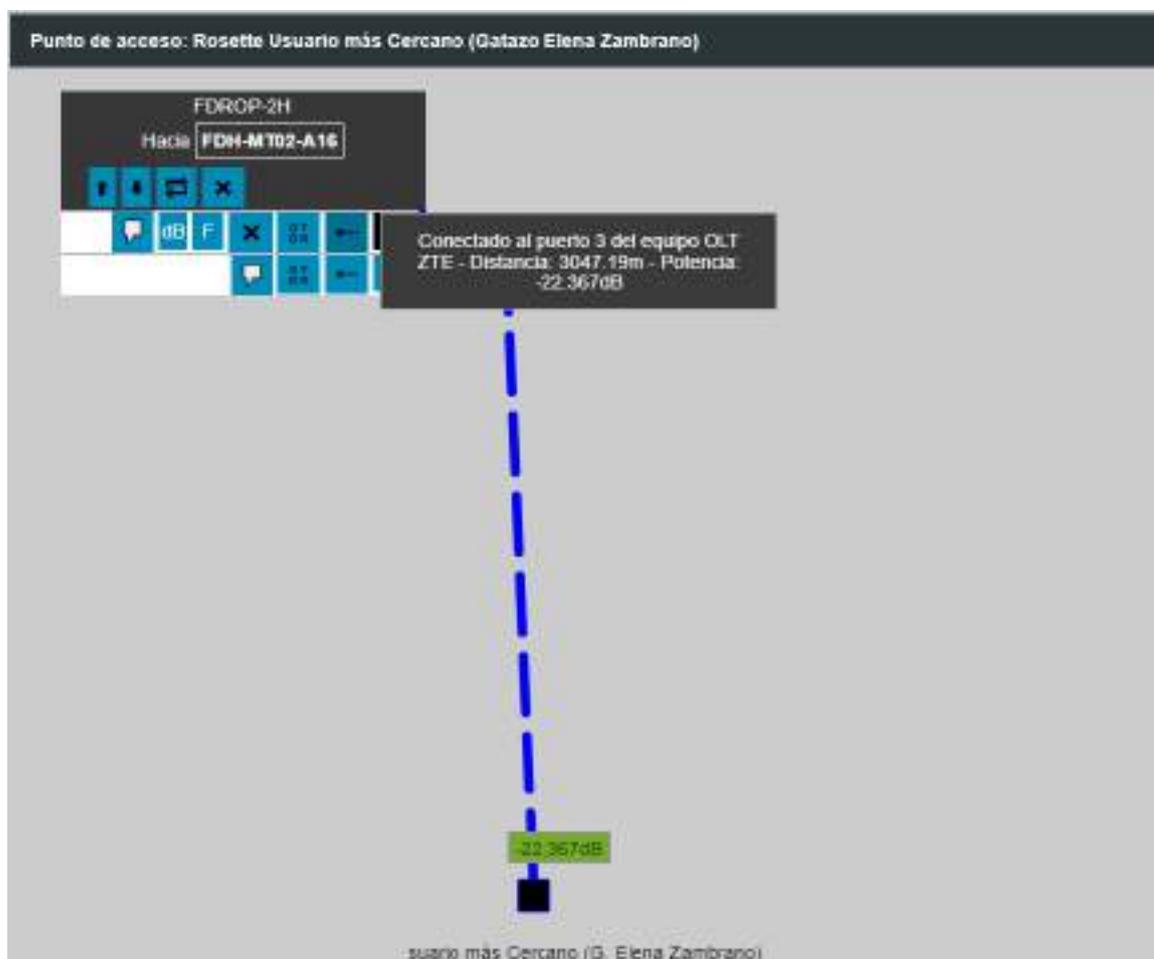


Figura 6-3: Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de G. Elena Zambrano

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Mediante la función OTDR de software TOMODAT2 se puede visualizar un diagrama de los elementos ópticos desde la ubicación del OLT hasta la ubicación de la roseta óptica del usuario más cercano en la zona de Gatazo Elena Zambrano detallando información sobre el puerto del OLT que habilita el servicio al usuario, distancia del enlace óptico y potencia de recepción del equipo ONT, como se aprecia en la figura 7-3.

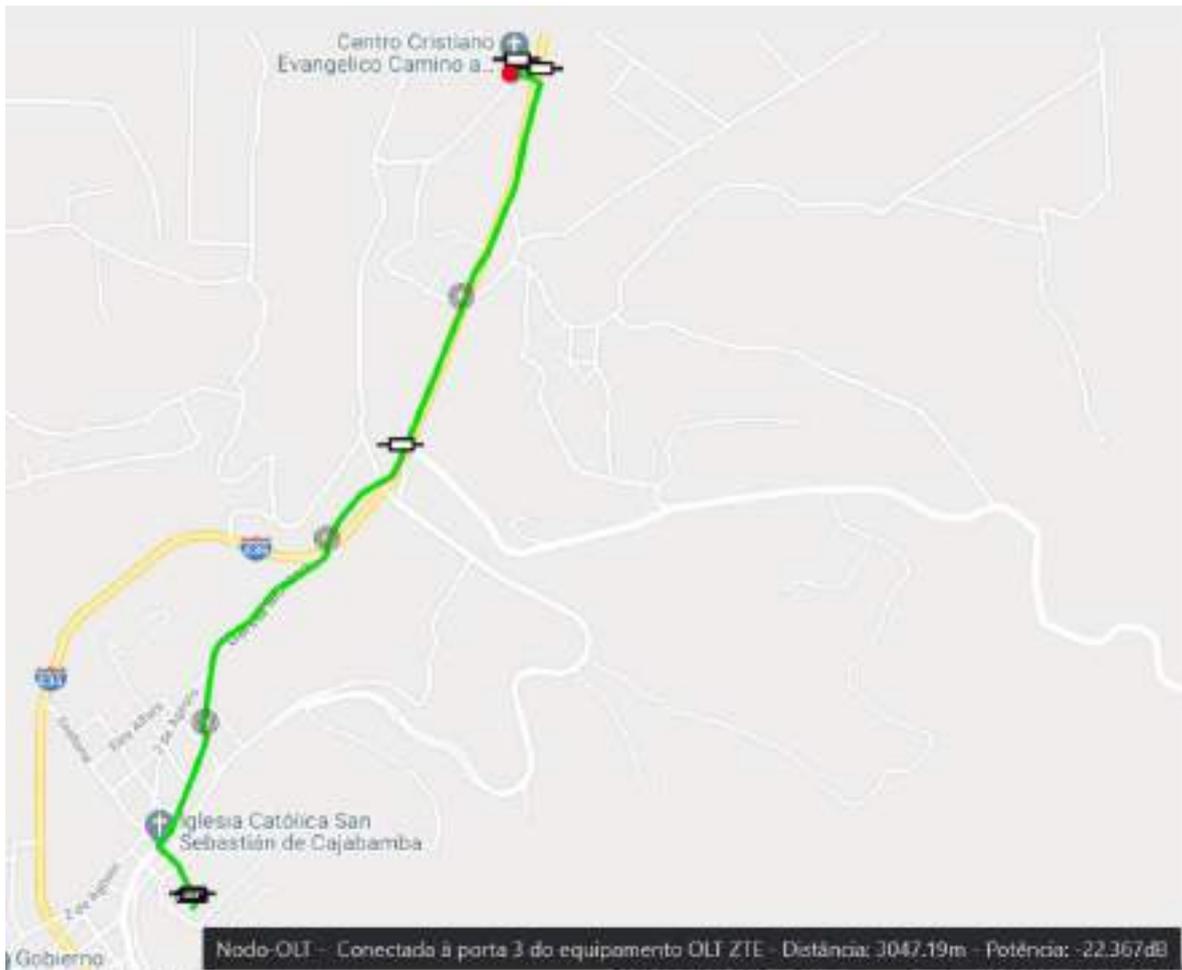


Figura 7-3: Diagrama del enlace óptico del usuario más cercano de G. Elena Zambrano

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

3.2.3.2. *Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de Gatazo Elena Zambrano*

El servicio para el usuario más lejano de la zona de Gatazo Elena Zambrano es habilitado por la caja NAP-MT02-B02, la cual está habilitada por el hilo café del buffer 1 que está conectado al puerto 4 del equipo OLT.

En la figura 8-3 se indica la potencia final recibida por el usuario más lejano con un valor de -23,002 dBm, comprado con el valor teórico calculado sin incluir el margen de seguridad que fue de -22,991 dBm, se obtiene una diferencia de -0,011 dBm entre el valor simulado y calculado. Por lo tanto, el resultado obtenido es óptimo al ser mayor que el valor de sensibilidad de -27 dBm del equipo ONT de clase B+ establecido en el estándar ITU-T G.984.2.

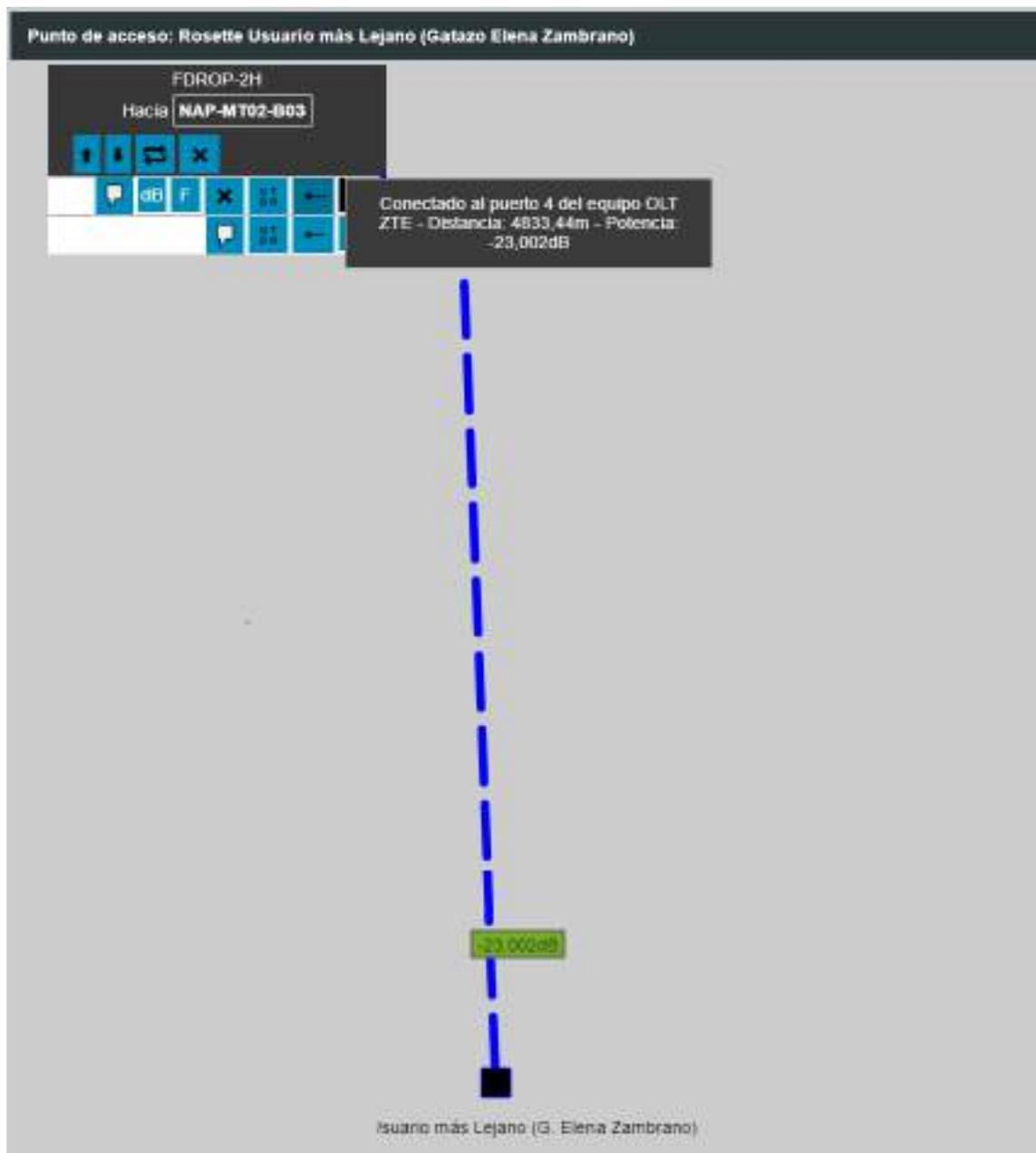


Figura 8-3: Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de G. Elena Zambrano

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Mediante la función OTDR de software TOMODAT2 se puede visualizar un diagrama de los elementos ópticos desde la ubicación del OLT hasta la ubicación de la roseta óptica del usuario más lejano en la zona de Gatizo Elena Zambrano, detallando información sobre el puerto que habilita el servicio al usuario, distancia del enlace óptico y potencia de recepción del equipo ONT, como se aprecia en la figura 9-3.



Figura 9-3: Diagrama del enlace óptico del usuario más lejano de G. Elena Zambrano

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

3.2.4. Resultados de la zona Gatazo Zambrano

3.2.4.1. Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de la zona Gatazo Zambrano

El servicio para el usuario más cercano de la zona de Gatazo Zambrano es habilitado por el armario FDH-MT03-A16, el cual está habilitado por el hilo gris del buffer 1 que está conectado al puerto 5 del equipo OLT.

En la figura 10-3 se indica la potencia final recibida por el usuario más cercano con un valor de -22,711 dBm, comprado con el valor teórico calculado sin incluir el margen de seguridad que fue de -22,71 dBm, se obtiene una diferencia de -0,001 dBm entre el valor simulado y calculado. Por lo tanto, el resultado obtenido es óptimo al ser mayor que el valor de sensibilidad de -27 dBm del equipo ONT de clase B+ establecido en el estándar ITU-T G.984.2.

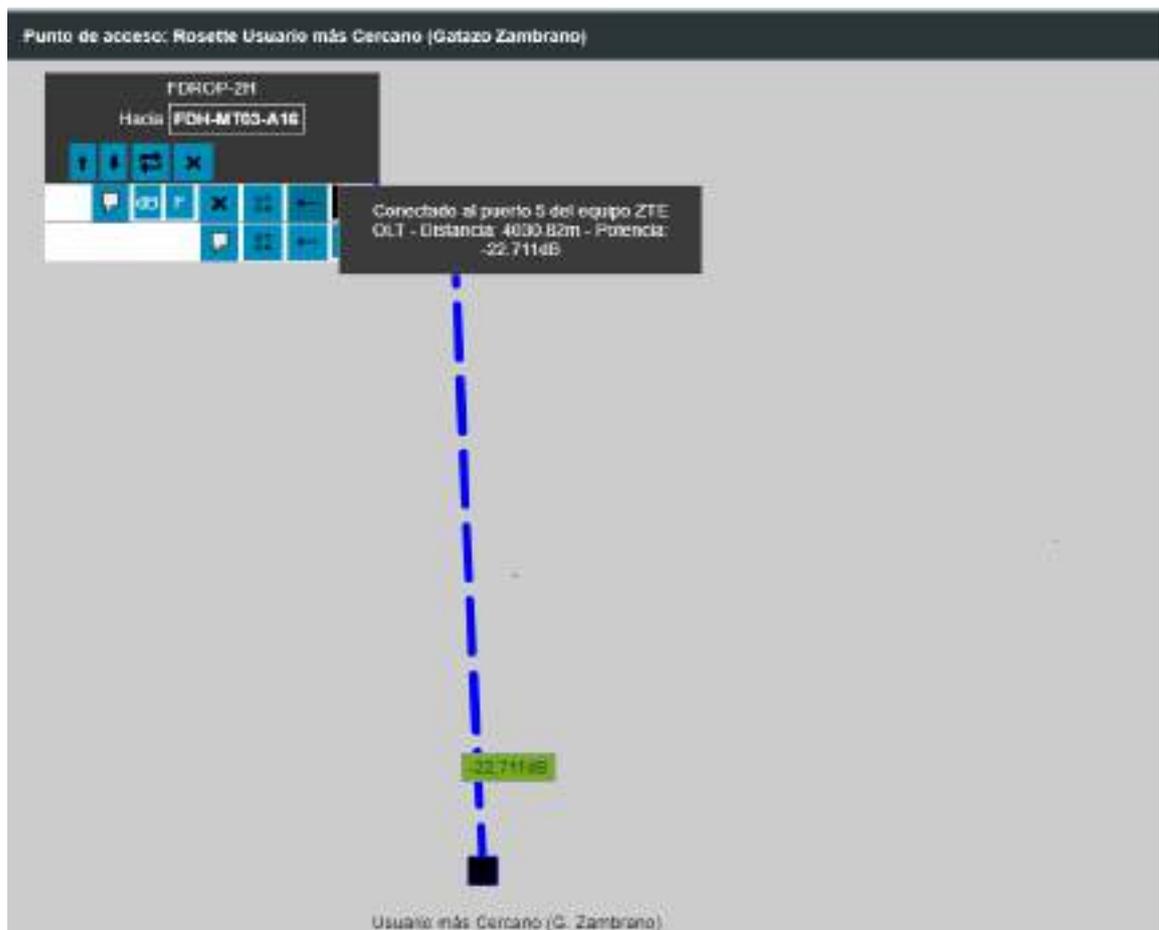


Figura 10-3: Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de zona G. Zambrano

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Mediante la función OTDR de software TOMODAT2 se puede visualizar un diagrama de los elementos ópticos desde la ubicación del OLT hasta la ubicación de la roseta óptica del usuario más cercano en la zona de Gatazo Zambrano detallando información sobre el puerto del OLT que habilita el servicio al usuario, distancia del enlace óptico y potencia de recepción del equipo ONT, como se aprecia en la figura 11-3.

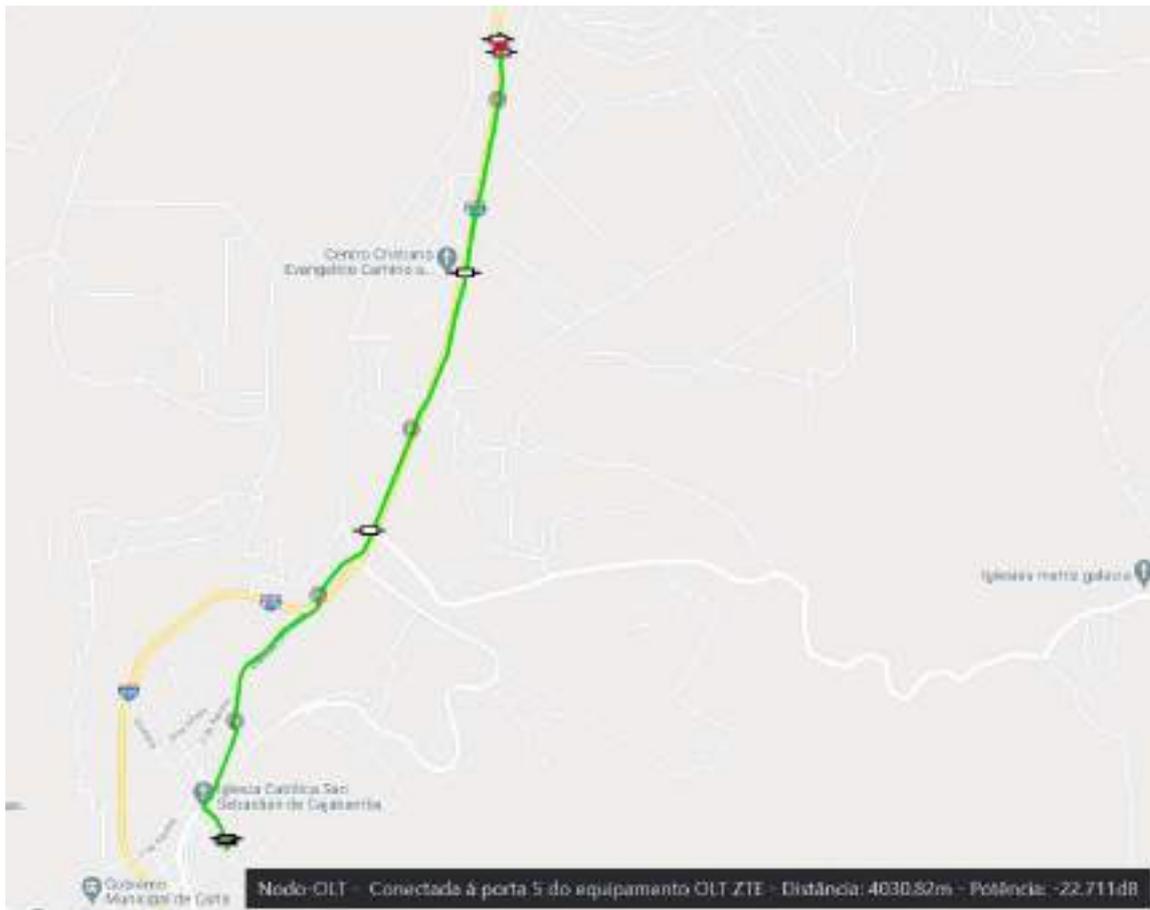


Figura 11-3: Diagrama del enlace óptico del usuario más cercano de la zona G. Zambrano
Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

3.2.4.2. *Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de la zona Gatazo Zambrano*

El servicio para el usuario más lejano de la zona de Gatazo Zambrano es habilitado por la caja NAP-MT03-B03, la cual está habilitada por el hilo blanco del buffer 1 que está conectado al puerto 6 del equipo OLT.

En la figura 12-3 se indica la potencia final recibida por el usuario más lejano con un valor de -20,132 dBm, comprado con el valor teórico calculado sin incluir el margen de seguridad que fue de -20,112 dBm, se obtiene una diferencia de -0,02 dBm entre el valor simulado y calculado. Por lo tanto, el resultado obtenido es óptimo al ser mayor que el valor de sensibilidad de -27 dBm del equipo ONT de clase B+ establecido en el estándar ITU-T G.984.2.

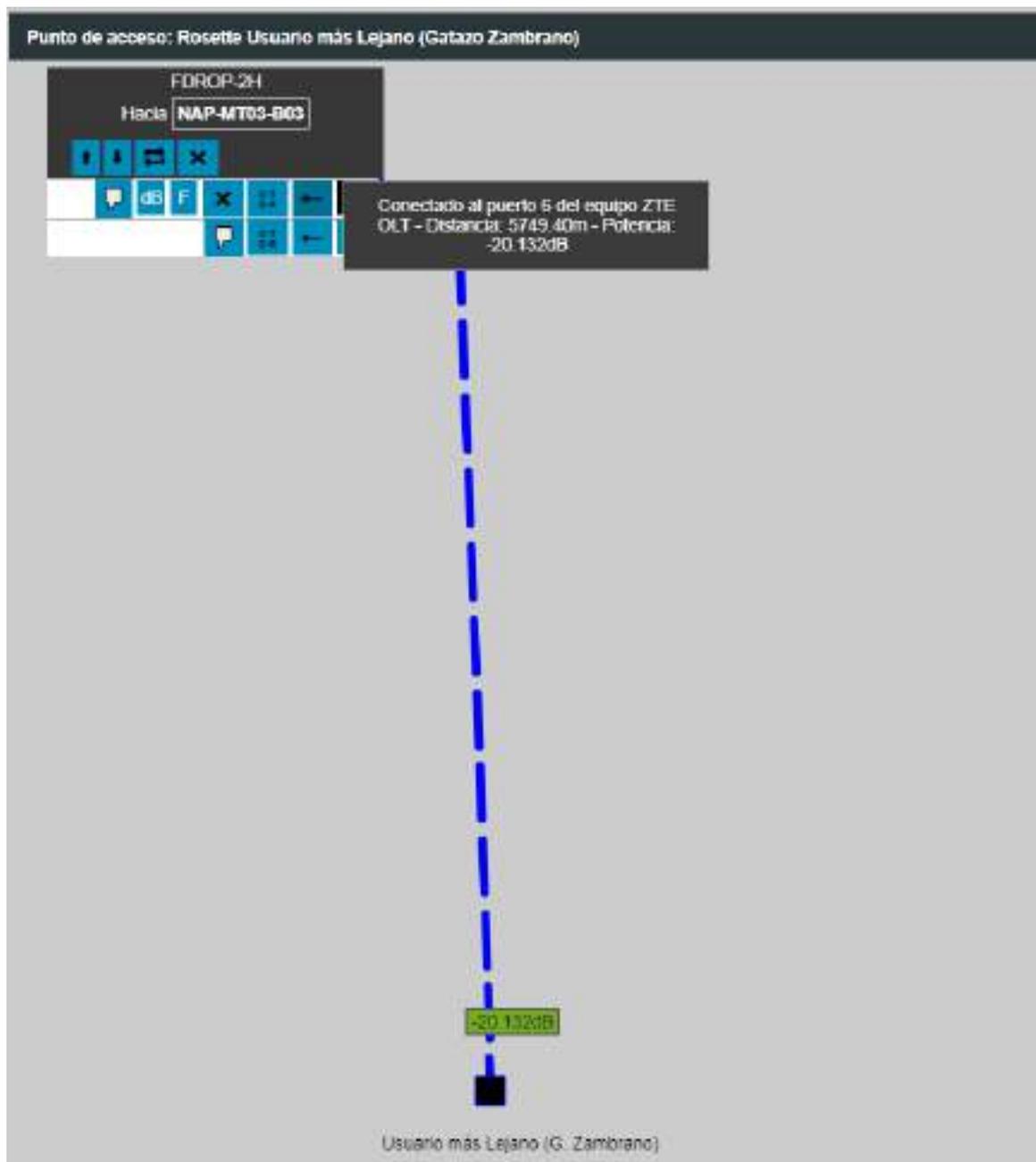


Figura 12-3: Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de zona G. Zambrano

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Mediante la función OTDR de software TOMODAT2 se puede visualizar un diagrama de los elementos ópticos desde la ubicación del OLT hasta la ubicación de la roseta óptica del usuario más lejano en la zona de Gatazo Zambrano, detallando información sobre el puerto que habilita el servicio al usuario, distancia del enlace óptico y potencia de recepción del equipo ONT, como se aprecia en la figura 13-3.

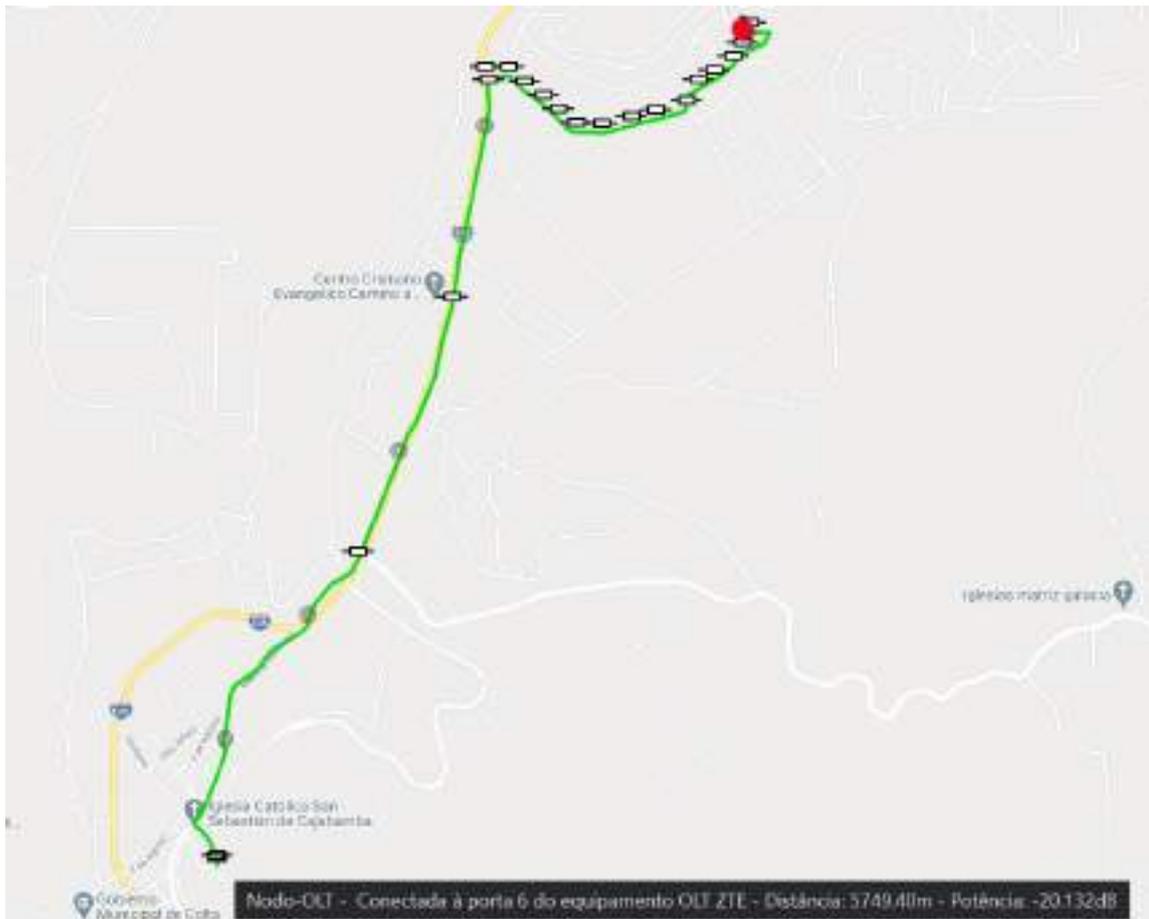


Figura 13-3: Diagrama del enlace óptico del usuario más lejano de zona G. Zambrano

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

3.2.5. Resultados de la zona Gatazo Grande

3.2.5.1. Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de la zona Gatazo Grande

El servicio para el usuario más cercano de la zona de Gatazo Grande es habilitado por el armario FDH-MT04-B08, el cual está habilitado por el hilo amarillo del buffer 1 que está conectado al puerto 9 del equipo OLT.

En la figura 14-3 se indica la potencia final recibida por el usuario más cercano con un valor de -20,134 dBm, comprado con el valor teórico calculado sin incluir el margen de seguridad que fue de -20,123 dBm, se obtiene una diferencia -0,011 dBm entre el valor simulado y calculado. Por lo tanto, el resultado obtenido es óptimo al ser mayor que el valor de sensibilidad de -27 dBm del equipo ONT de clase B+ establecido en el estándar ITU-T G.984.2.

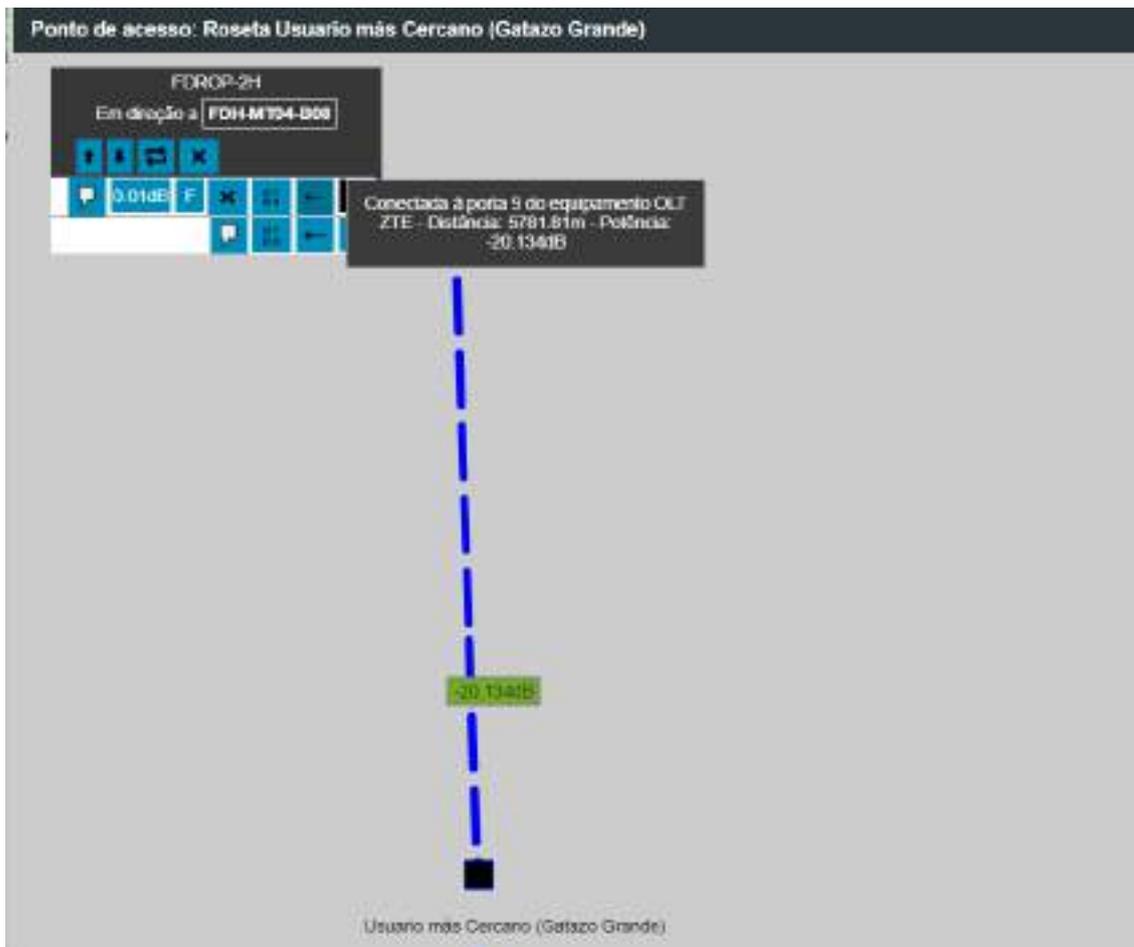


Figura 14-3: Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de zona Gatazo Grande

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Mediante la función OTDR de software TOMODAT2 se puede visualizar un diagrama de los elementos ópticos desde la ubicación del OLT hasta la ubicación de la roseta óptica del usuario más cercano en la zona de Gatazo Grande detallando información sobre el puerto del OLT que habilita el servicio al usuario, distancia del enlace óptico y potencia de recepción del equipo ONT, como se aprecia en la figura 15-3.



Figura 15-3: Diagrama del enlace óptico del usuario más cercano de zona Gatazo Grande

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

3.2.5.2. Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de la zona Gatazo Grande

El servicio para el usuario más lejano de la zona de Gatazo Grande es habilitado por la caja NAP-MT04-D01, la cual está habilitada por el hilo rosa del buffer 1 que está conectado al puerto 11 del equipo OLT.

En la figura 16-3 se indica la potencia final recibida por el usuario más lejano con un valor de -20,544 dBm, comprado con el valor teórico calculado sin incluir el margen de seguridad que fue de -20,523 dBm, se obtiene una diferencia de -0,021 dBm entre el valor simulado y calculado. Por lo tanto, el resultado obtenido es óptimo al ser mayor que el valor de sensibilidad de -27 dBm del equipo ONT de clase B+ establecido en el estándar ITU-T G.984.2.

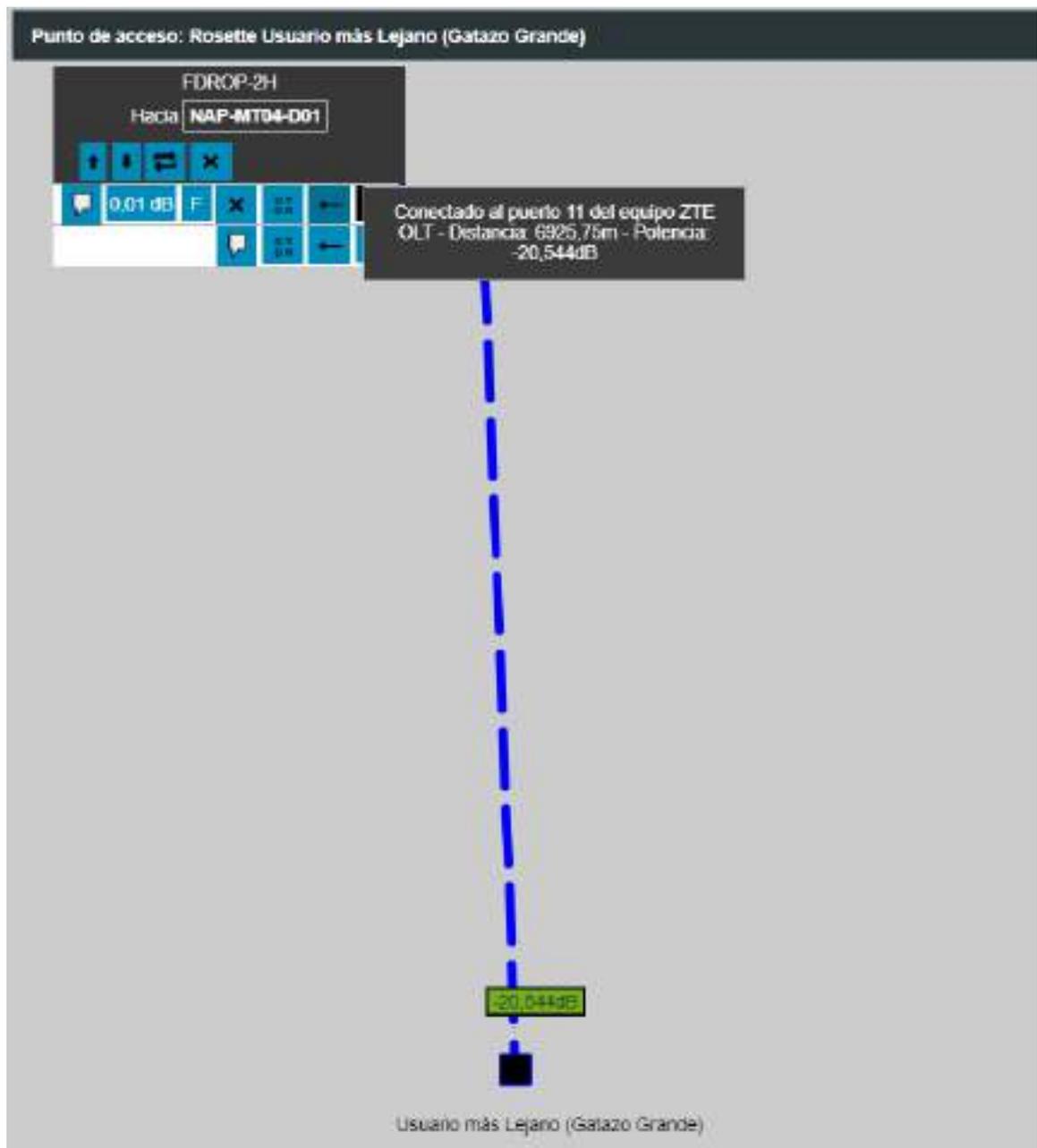


Figura 16-3: Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de zona Gatazo Grande

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Mediante la función OTDR de software TOMODAT2 se puede visualizar un diagrama de los elementos ópticos desde la ubicación del OLT hasta la ubicación de la roseta óptica del usuario más lejano en la zona de Gatazo Grande, detallando información sobre el puerto que habilita el servicio al usuario, distancia del enlace óptico y potencia de recepción del equipo ONT, como se aprecia en la figura 17-3.



Figura 17-3: Diagrama del enlace óptico del usuario más lejano de zona Gatazo Grande
Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

3.2.6. Resultados de la zona Gatazo Chico

3.2.6.1. Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de la zona Gatazo Chico

El servicio para el usuario más cercano de la zona de Gatazo Chico es habilitado por el armario FDH-MT04-E08, el cual está habilitado por el hilo celeste del buffer 1 que está conectado al puerto 12 del equipo OLT.

En la figura 18-3 se indica la potencia final recibida por el usuario más cercano con un valor de -20,709 dBm, comprado con el valor teórico calculado sin incluir el margen de seguridad que fue de -20,699 dBm, se obtiene una diferencia de -0,01 dBm entre el valor simulado y calculado. Por lo tanto, el resultado obtenido es óptimo al ser mayor que el valor de sensibilidad de -27 dBm del equipo ONT de clase B+ establecido en el estándar ITU-T G.984.2.

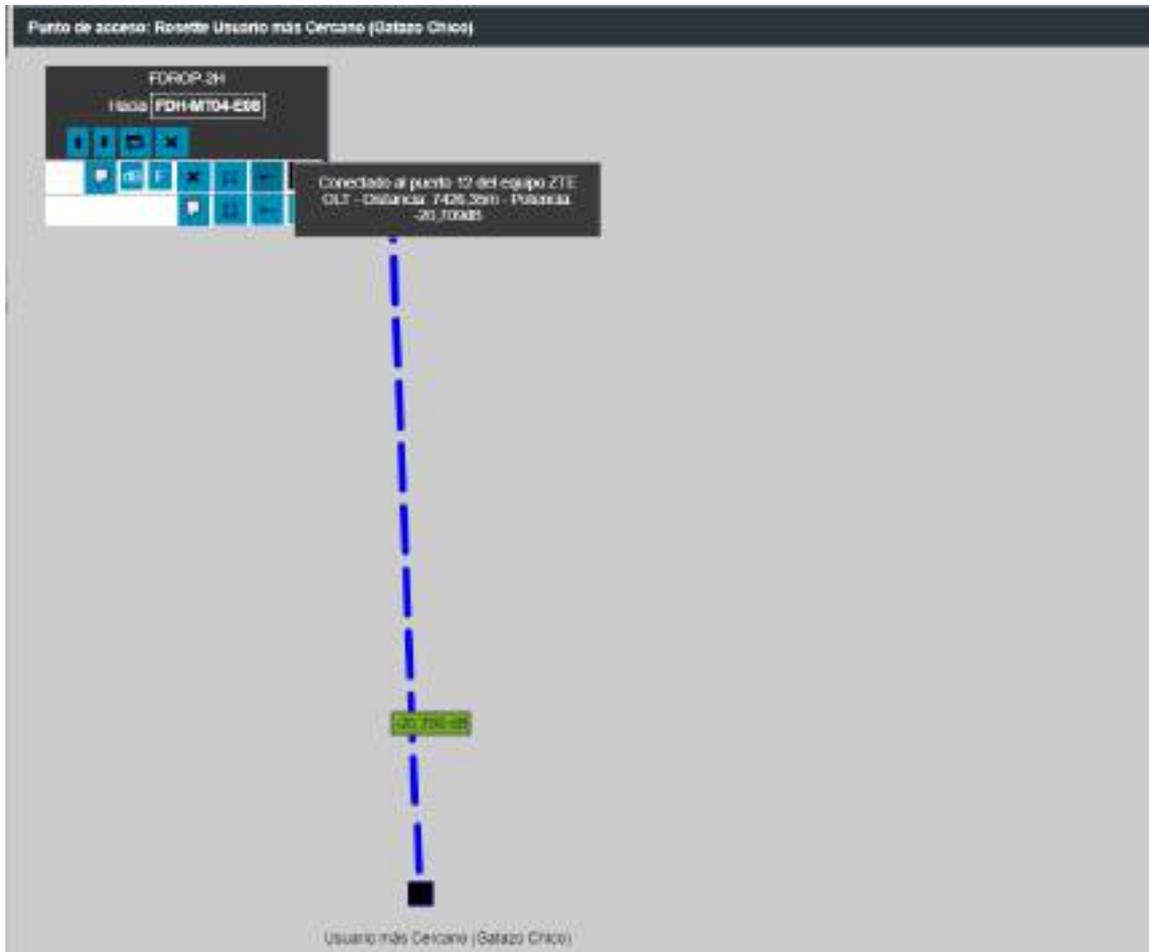


Figura 18-3: Potencia recibida por el ONT del usuario más cercano de zona Gatazo Chico

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Mediante la función OTDR de software TOMODAT2 se puede visualizar un diagrama de los elementos ópticos desde la ubicación del OLT hasta la ubicación de la roseta óptica del usuario más cercano en la zona de Gatazo Chico detallando información sobre el puerto del OLT que habilita el servicio al usuario, distancia del enlace óptico y potencia de recepción del equipo ONT, como se aprecia en la figura 19-3.

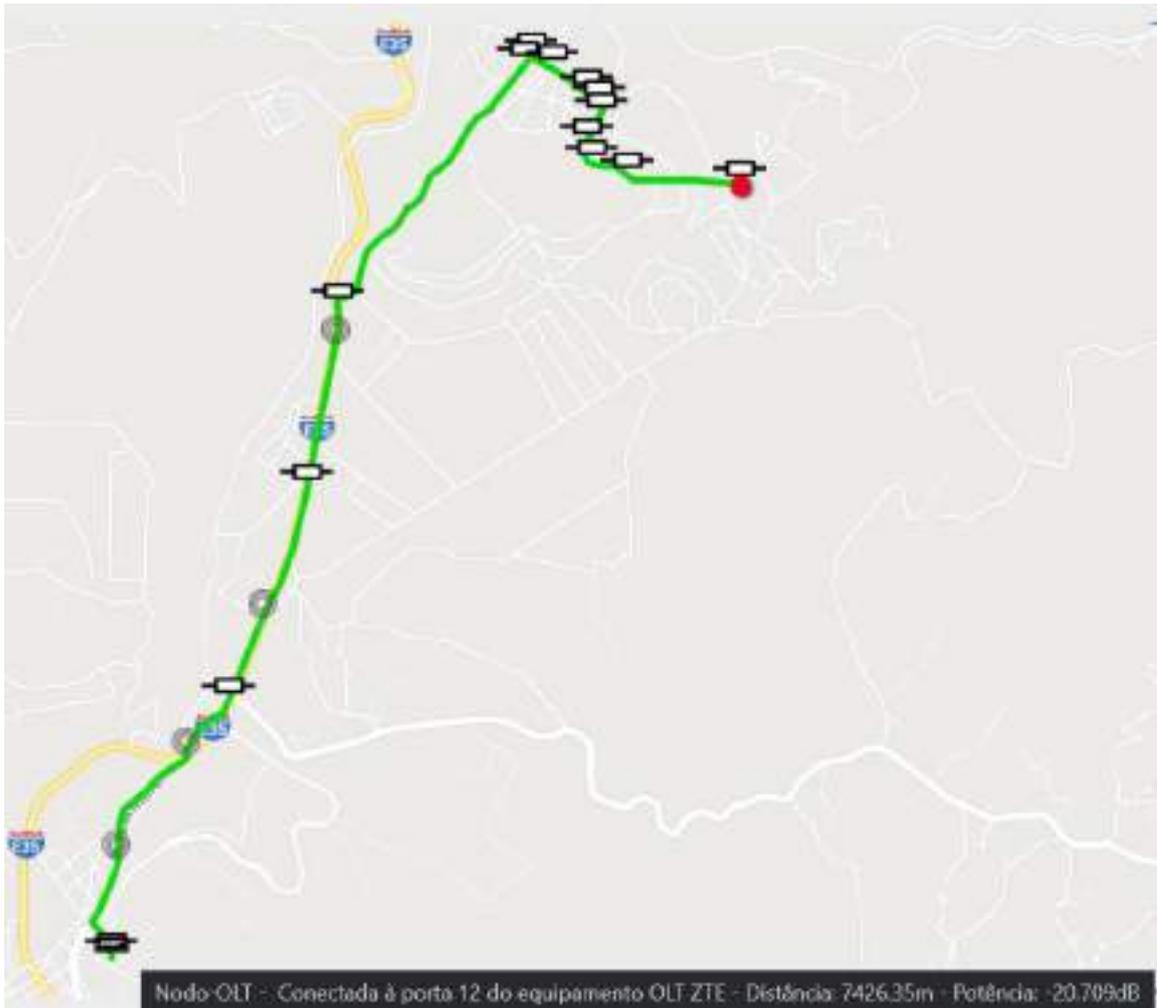


Figura 19-3: Diagrama del enlace óptico del usuario más cercano de zona Gatazo Chico

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

3.2.6.2. *Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de la zona Gatazo Chico*

El servicio para el usuario más lejano de la zona de Gatazo Chico es habilitado por la caja NAP-MT04-G01, la cual está habilitada por el hilo naranja del buffer 2 que está conectado al puerto 14 del equipo OLT.

En la figura 20-3 se indica la potencia final recibida por el usuario más lejano con un valor de -21,554 dBm, comprado con el valor teórico calculado sin incluir el margen de seguridad que fue de -21,534 dBm, se obtiene una diferencia de -0,02 dBm entre el valor simulado y calculado. Por lo tanto, el resultado obtenido es óptimo al ser mayor que el valor de sensibilidad de -27 dBm del equipo ONT de clase B+ establecido en el estándar ITU-T G.984.2.

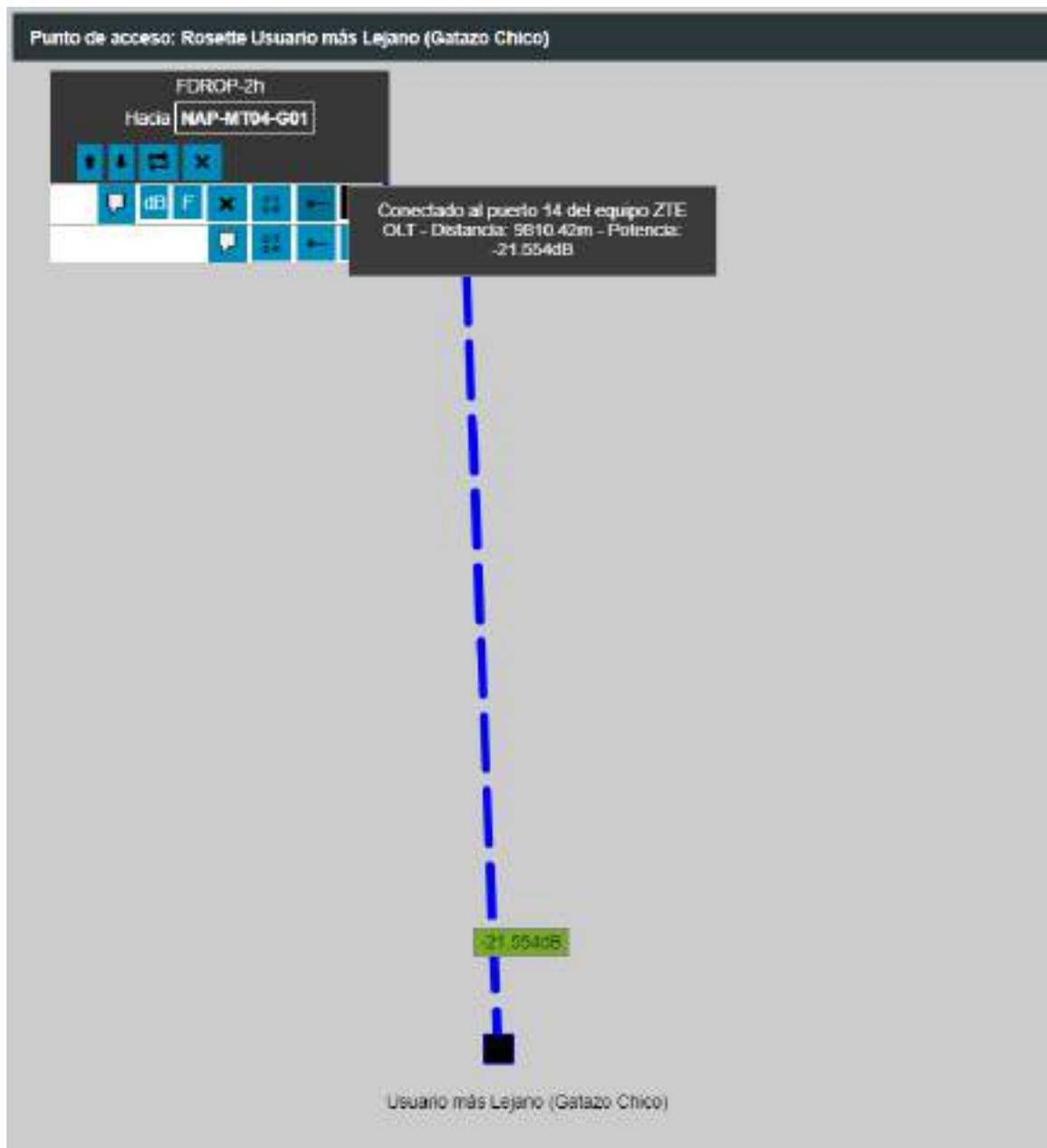


Figura 20-3: Potencia recibida por el ONT del usuario más lejano de zona Gatazo Chico

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

Mediante la función OTDR de software TOMODAT2 se puede visualizar un diagrama de los elementos ópticos desde la ubicación del OLT hasta la ubicación de la roseta óptica del usuario más lejano en la zona de Gatazo Chico, detallando información sobre el puerto que habilita el servicio al usuario, distancia del enlace óptico y potencia de recepción del equipo ONT, como se aprecia en la figura 21-3.

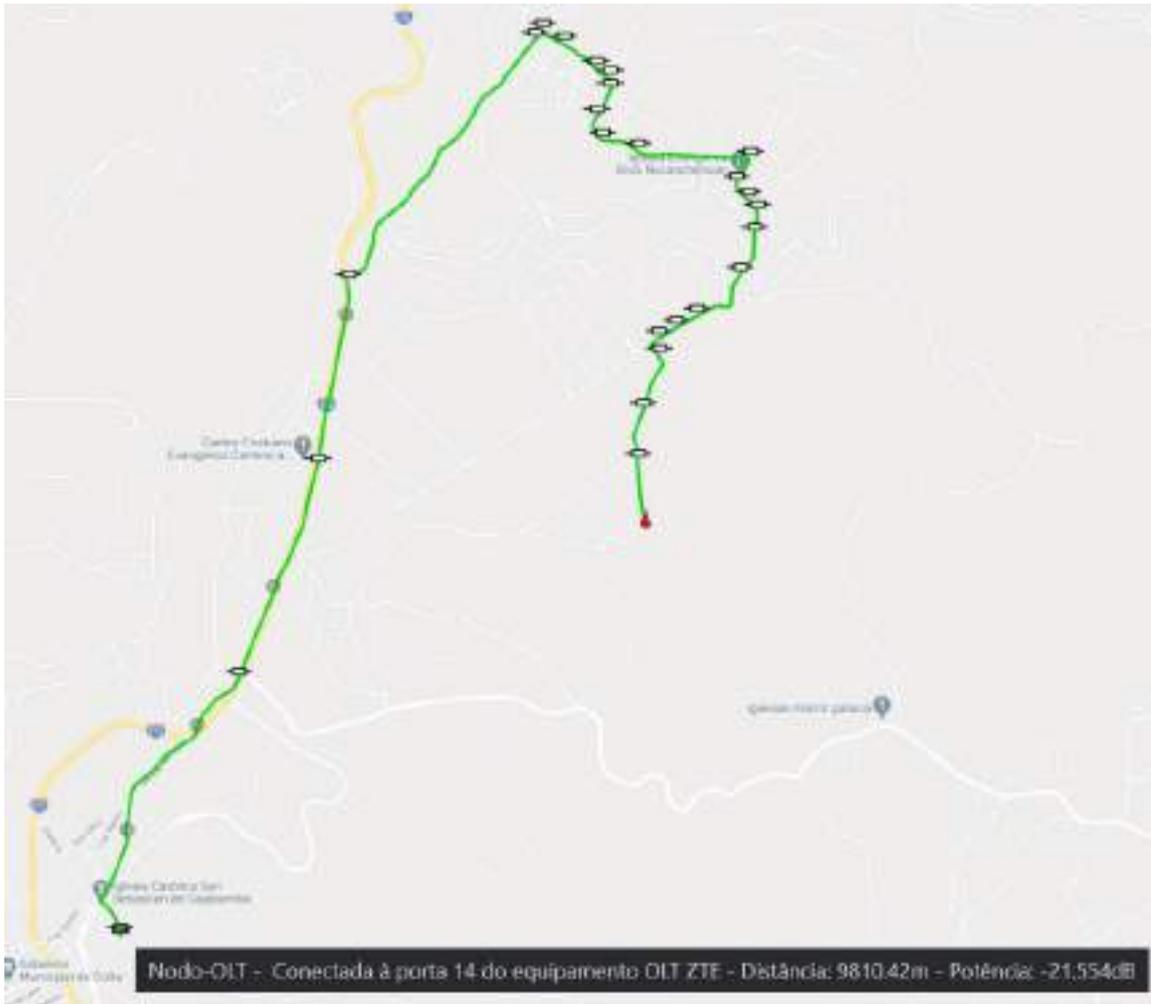


Figura 21-3: Diagrama del enlace óptico del usuario más lejano de zona Gatazo Chico

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2020.

3.2.7. *Resumen de comparación de resultados*

En la tabla 2-3 se muestra una tabla resumen de la comparación de los resultados obtenidos en la simulación con los obtenidos mediante cálculos teóricos.

Tabla 2-3: Comparación de resultados de simulación con los teóricos calculados.

| Zona | Usuario | Valor de simulación | Valor Teórico | Diferencia |
|-----------------------|-------------|---------------------|---------------|------------|
| Gatazo Hospital | Más Cercano | -21,948 | -21,947 | -0,001 |
| | Más Lejano | -22,572 | -22,562 | -0,010 |
| Gatazo Elena Zambrano | Más Cercano | -22,367 | -22,366 | -0,001 |
| | Más Lejano | -23,002 | -22,991 | -0,011 |
| Gatazo Zambrano | Más Cercano | -22,711 | -22,710 | -0,001 |
| | Más Lejano | -20,132 | -20,112 | -0,020 |
| Gatazo Grande | Más Cercano | -20,134 | -20,123 | -0,011 |
| | Más Lejano | -20,544 | -20,523 | -0,021 |
| Gatazo Chico | Más Cercano | -20,709 | -20,699 | -0,010 |
| | Más Lejano | -21,554 | -21,534 | -0,020 |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

Los resultados de la simulación al igual que los resultados del cálculo teórico se los obtuvieron considerando el sentido downstream (descendente), tras la comparación respectiva entre dichos valores tanto para el usuario más cercano y más lejano de cada zona, se evidencia una diferencia mínima entre dichos resultados. Por lo tanto, se puede afirmar que el diseño de la red propuesta es apta para implementar, pues los valores de potencia de recepción obtenidos son apropiados al ser mayores que el valor de sensibilidad de -27 dBm del equipo ONT de clase B+ establecido en el estándar ITU-T G.984.2.

3.3. Selección de equipos ópticos activos de la red

3.3.1. Equipo OLT

Para cubrir los requerimientos de la red FTTH-GPON diseñada acorde a los parámetros de la red tipo clase B+ de la ITU-T G.984.X, se determinó la necesidad de ocupar un equipo OLT de la marca ZTE con las siguientes características técnicas detalladas en la tabla 3-3.

ZTE ZX10 C320 es una plataforma convertidora de acceso óptico de tamaño pequeño y servicio completo, proporciona una clase de transporte QoS y red fiable para satisfacer los requisitos de la aplicación a pequeña escala de los servicios FTTx (ZTE, 2021).

Tabla 3-3: Características técnicas de OLT GPON ZTE C320

| | |
|---|---|
| Marca | ZTE |
| Numero de Modelo | C320 |
| Dimensiones (alto x ancho x profundidad) | 86.1mm x 482.6mm x 270mm |
| Peso | 6,5Kg |
| Adaptador de corriente entrada | 100-240V AC (\pm 20%, 50Hz) |
| Voltaje de funcionamiento | 48 V (\pm 20%) |
| Aplicación | Redes FTTH, FTTB, FTTX |
| Compatibilidad | Huawei, ZTE, BDCOM, Raisecom |
| Capacidad | GPON hasta 32 puertos <ul style="list-style-type: none"> • Tarjeta GPON: 8/16 puertos por tarjeta • Tarjeta XG-PON1: 8 puertos por tarjeta • Interfaces de enlace ascendente de hasta 4 x GE (óptico) + 2 x GE (electrónico) o 2x10 GE (óptico) + 2 x GE (óptico)+ 2 x GE (electrónico) |
| PON | <ul style="list-style-type: none"> • GPON compatible con ITU G.984.x • XG-PON1 compatible con ITU G.987.x y G.988 • Soporta relación de división óptica 1:128 para xPON • Alcance máximo lógico: 60 km • Alcance físico máximo: 20 km • DBA de alta eficiencia: NSR-DBA, SR-DBA • GPON transceptor potencia: Clase B + o Clase C + • Apoyo FEC y AES128 • Soporte 1550nm para CATV |

Fuente: (ZTE, 2021)

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

3.3.2. *Equipo ONT*

Para cubrir los requerimientos de la red FTTH-GPON diseñada acorde a los parámetros de la red tipo clase B+ de la ITU-T G.984.X, se determinó la necesidad de ocupar un equipo ONT de la marca Huawei con las siguientes características técnicas detalladas en la tabla 4-3.

El Huawei EchoLife HG8546M es un gateway doméstico de gama alta utilizado en la solución FTTH de Huawei. Al utilizar la tecnología GPON, proporciona acceso ultra banda ancha para usuarios domésticos y cuenta con capacidades de reenvío de alto rendimiento para garantizar una excelente experiencia con servicios de vídeo VoIP, Internet y HD (Huawei, 2021).

Tabla 4-3: Características técnicas de ONT Huawei HG8546M

| | |
|---|--|
| Marca | Huawei |
| Número de Modelo | EchoLife HG8546M |
| Interfaz de usuario | 4FE + 1 POTS + 1USB + WiFi |
| Interfaz óptica | SC/UPC |
| Dimensiones (alto x ancho x profundidad) | 176mm x 138,5mm x 28mm |
| Peso | <500g |
| Adaptador de corriente entrada | 100-240 V AC 50-60Hz |
| Fuente de alimentación | 11-14 V DC 0,5 |
| Aplicación | FTTH, FTTB |
| Puerto PON | <ul style="list-style-type: none"> • GPON Clase B + • Sensibilidad del receptor: -27dBm • Longitudes de onda: 1310 y 1490 nm • Filtro de bloqueo de longitud de onda (WBF) • Mapa Flexible entre el puerto de gema y TCONT • Método de verificación: SN/contraseña/LOID (GPON) • Bi-direccional FEC |
| Puerto Ethernet | <ul style="list-style-type: none"> • Etiquetas VLAN • 1:1 VLAN, N: 1 VLAN o QinQ VLAN • Límite en el número de direcciones MAC adquiridas • Dirección MAC de aprendizaje • Transmisión transparente de IPv6 |
| Puerto POTS | <ul style="list-style-type: none"> • Número máximo de puertos y terminales: 4REN • Apoyo G.711A/u g.729a/b G.722 Codificación/decodificación • Apoyo T.30/T.38/G.711 forma fax • DTMF • Llamada de emergencia (protocolo SIP) |
| Puerto USB | <ul style="list-style-type: none"> • USB2.0 • Almacenamiento de red basado en FTP |
| WLAN (Red Inalámbrica) | <ul style="list-style-type: none"> IEEE 802,11 b/g/n • MIMO 2x2 • Ganancia de antena: 2 dBi • SSID múltiples y WPS |

Fuente: (Huawei, 2021)

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

3.4. Elementos ópticos de la Red

Para el diseño de la red FTH-GPON para el sector de Gatazo se utilizó diversos elementos ópticos, a continuación se enumera la cantidad proyectada de elementos ópticos de cada una de las zonas de la red, esta información será de mucha importancia al momento de la implementación progresiva de la red por parte del ISP Maxxnet Internet.

3.4.1. Zona Gatazo Hospital

En la tabla 5-3 se detalla la cantidad de elementos ópticos necesarios para el despliegue de la red FTTH-GPON en la zona de Gatazo Hospital.

Tabla 5-3: Total de elementos ópticos de la zona Gatazo Hospital

| Elemento | Cantidad |
|----------------------------|-----------------|
| Mangas | 1 |
| FDHs | 2 |
| Splitter 1:16 fusión | 2 |
| NAPs | 30 |
| Splitter 1:8 conectorizado | 30 |
| Conectores | 768 |
| Roseta | 256 |
| ONTs | 256 |
| Fibra 12 hilos | 3690 m |
| Fibra 8 hilos | 2355 m |
| Fibra 6 hilos | 337 m |
| Fibra 2 hilos | 4800 m |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

3.4.2. Zona Gatazo Elena Zambrano

En la tabla 6-3 se detalla la cantidad de elementos ópticos necesarios para el despliegue de la red FTTH-GPON en la zona de Gatazo Elena Zambrano.

Tabla 6-3: Total de elementos ópticos de la zona Gatazo Elena Zambrano

| Elemento | Cantidad |
|----------------------------|-----------------|
| Mangas | 1 |
| FDHs | 2 |
| Splitter 1:16 fusión | 2 |
| NAPs | 29 |
| Splitter 1:8 conectorizado | 29 |
| Conectores | 744 |
| Roseta | 248 |
| ONTs | 248 |
| Fibra 12 hilos | 2198 m |
| Fibra 8 hilos | 591 m |
| Fibra 6 hilos | 2383 m |
| Fibra 2 hilos | 4640 |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

3.4.3. Zona Gatazo Zambrano

En la tabla 7-3 se detalla la cantidad de elementos ópticos necesarios para el despliegue de la red FTTH-GPON en la zona de Gatazo Zambrano.

Tabla 7-3: Total de elementos ópticos de la zona Gatazo Zambrano

| Elemento | Cantidad |
|----------------------------|-----------------|
| Mangas | 1 |
| FDHs | 3 |
| Splitter 1:16 fusión | 1 |
| Splitter 1:8 fusión | 2 |
| NAPs | 24 |
| Splitter 1:8 conectorizado | 24 |
| Conectores | 648 |
| Roseta | 216 |
| ONTs | 216 |
| Fibra 12 hilos | 2654 m |
| Fibra 8 hilos | 689 m |
| Fibra 6 hilos | 770 m |
| Fibra 2 hilos | 4960 m |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

3.4.4. Zona Gatazo Grande

En la tabla 8-3 se detalla la cantidad de elementos ópticos necesarios para el despliegue de la red FTTH-GPON en la zona de Gatazo Grande.

Tabla 8-3: Total de elementos ópticos de la zona Gatazo Grande

| Elemento | Cantidad |
|----------------------------|-----------------|
| Mangas | 1 |
| FDHs | 4 |
| Splitter 1:8 fusión | 4 |
| NAPs | 27 |
| Splitter 1:8 conectorizado | 27 |
| Conectores | 744 |
| Roseta | 248 |
| ONTs | 248 |
| Fibra 12 hilos | 2417 m |
| Fibra 8 hilos | 421 m |
| Fibra 6 hilos | 1294 m |
| Fibra 2 hilos | 4320 m |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

3.4.5. Zona Gatazo Chico

En la tabla 9-3 se detalla la cantidad de elementos ópticos necesarios en la zona de Gatazo Chico.

Tabla 9-3: Total de elementos ópticos de la zona Gatazo Chico

| Elemento | Cantidad |
|----------------------------|-----------------|
| FDHs | 3 |
| Splitter 1:8 fusión | 3 |
| NAPs | 21 |
| Splitter 1:8 conectorizado | 21 |
| Conectores | 576 |
| Roseta | 192 |
| ONTs | 192 |
| Fibra 12 hilos | 1665 m |
| Fibra 6 hilos | 3380 m |
| Fibra 2 hilos | 3360 m |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

3.5. Presupuesto elementos ópticos de la red

A continuación se detalla primero el costo de inversión total de la red Feeder para todo el sector Gatazo y posteriormente se detalla los costos de inversión de la Red de Distribución y de la Red de Dispersión de cada una de las zonas del sector.

3.5.1. Presupuesto de la Red Feeder para todo el Sector Gatazo

Tabla 10-3: Presupuesto de inversión de la red Feeder para el sector Gatazo

| Elemento | Cantidad | Precio (\$) | Subtotal (\$) |
|----------------------|----------|-------------------|---------------|
| OLT ZTE (16 puertos) | 1 | 2750,00 | 2750,00 |
| ODF | 1 | 69,00 | 69,00 |
| Patch Cord | 12 | 3,50 | 42,00 |
| Pigtails | 12 | 1,60 | 19,20 |
| Fibra 24 hilos | 8000 m | 0,76 | 6080,00 |
| Herraje A | 142 | 6,00 | 852,00 |
| Herraje B | 11 | 10,00 | 110,00 |
| Preformados | 142 | 5,50 | 781,00 |
| | | TOTAL (\$) | 10703,20 |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

En la tabla 10-3: se detalla la cantidad y precio unitario de cada uno de los elementos ópticos proyectados a utilizar en el despliegue total de la red feeder en el sector de Gatazo, obteniendo un presupuesto de \$ 10703,20.

3.5.2. Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Hospital

Tabla 11-3: Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Hospital

| Elemento | Cantidad | Precio (\$) | Subtotal (\$) |
|--------------------------------------|----------|-------------|---------------|
| Mangas | 1 | 85,00 | 85,00 |
| FDHs | 2 | 70,00 | 140,00 |
| Splitter 1:16 fusión | 2 | 15,00 | 30,00 |
| NAPs + Splitter 1:8 conectorizado | 30 | 45,00 | 1350,00 |
| Conectores | 768 | 1,00 | 768,00 |
| Roseta | 256 | 5,00 | 1280,00 |

Tabla 11-3: Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Hospital (Continuación)

| | | | |
|----------------|--------|-------------------|----------|
| ONTs | 256 | 34,00 | 8704,00 |
| Fibra 12 hilos | 3690 m | 0,55 | 2029,50 |
| Fibra 8 hilos | 2355 m | 0,45 | 1059,75 |
| Fibra 6 hilos | 337 m | 0,35 | 117,95 |
| Fibra 2 hilos | 4800 m | 0,10 | 480,00 |
| | | TOTAL (\$) | 16044,20 |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

En la tabla 11-3: se detalla la cantidad y precio unitario de cada uno de los elementos ópticos proyectados a utilizar en el despliegue de la red de distribución y dispersión en la zona de Gatazo Hospital, obteniendo un presupuesto de \$ 16044,20.

3.5.3. *Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona G. Elena Zambrano*

Tabla 12-3: Presupuesto de Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Elena Zambrano

| Elemento | Cantidad | Precio (\$) | Subtotal (\$) |
|-----------------------------------|----------|-------------------|---------------|
| Mangas | 1 | 85,00 | 85,00 |
| FDHs | 2 | 70,00 | 140,00 |
| Splitter 1:16 fusión | 2 | 15,00 | 30,00 |
| NAPs + Splitter 1:8 conectorizado | 29 | 45,00 | 1305,00 |
| Conectores | 744 | 1,00 | 744,00 |
| Roseta | 248 | 5,00 | 1240,00 |
| ONTs | 248 | 34,00 | 8432,00 |
| Fibra 12 hilos | 2198 m | 0,55 | 1208,90 |
| Fibra 8 hilos | 591 m | 0,45 | 265,95 |
| Fibra 6 hilos | 2383 m | 0,35 | 834,05 |
| Fibra 2 hilos | 4640 | 0,10 | 464,00 |
| | | TOTAL (\$) | 14748,90 |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

En la tabla 12-3: se detalla la cantidad y precio unitario de cada uno de los elementos ópticos proyectados a utilizar en el despliegue de la red de distribución y dispersión en la zona de Gatazo Elena Zambrano, obteniendo un presupuesto de \$ 14748,90

3.5.4. *Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Zambrano*

Tabla 13-3: Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Zambrano

| Elemento | Cantidad | Precio (\$) | Subtotal (\$) |
|--------------------------------------|-----------------|--------------------|----------------------|
| Mangas | 1 | 85,00 | 85,00 |
| FDHs | 3 | 70,00 | 210,00 |
| Splitter 1:16 fusión | 1 | 15,00 | 15,00 |
| Splitter 1:8 fusión | 2 | 12,00 | 24,00 |
| NAPs + Splitter 1:8 conectorizado | 24 | 45,00 | 1080,00 |
| Conectores | 648 | 1,00 | 648,00 |
| Roseta | 216 | 5,00 | 1080,00 |
| ONTs | 216 | 34,00 | 7344,00 |
| Fibra 12 hilos | 2654 m | 0,55 | 1459,70 |
| Fibra 8 hilos | 689 m | 0,45 | 310,05 |
| Fibra 6 hilos | 770 m | 0,35 | 269,50 |
| Fibra 2 hilos | 4960 m | 0,10 | 496,00 |
| | | TOTAL (\$) | 13021,25 |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

En la tabla 13-3: se detalla la cantidad y precio unitario de cada uno de los elementos ópticos proyectados a utilizar en el despliegue de la red de distribución y dispersión en la zona de Gatazo Zambrano, obteniendo un presupuesto de \$ 13021,25.

3.5.5. *Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Grande*

En la tabla 14-3: se detalla la cantidad y precio unitario de cada uno de los elementos ópticos proyectados a utilizar en el despliegue de la red de distribución y dispersión en la zona de Gatazo Grande, obteniendo un presupuesto de \$ 14447,70

Tabla 14-3: Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Grande

| Elemento | Cantidad | Precio (\$) | Subtotal (\$) |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------|----------------------|
| Mangas | 1 | 85,00 | 85,00 |
| FDHs | 4 | 70,00 | 280,00 |
| Splitter 1:8 fusión | 4 | 12,00 | 48,00 |
| NAPs + Splitter 1:8 conectorizado | 27 | 45,00 | 1215,00 |
| Conectores | 744 | 1,00 | 744,00 |
| Roseta | 248 | 5,00 | 1240,00 |
| ONTs | 248 | 34,00 | 8432,00 |
| Fibra 12 hilos | 2417 m | 0,55 | 1329,35 |
| Fibra 8 hilos | 421 m | 0,45 | 189,45 |
| Fibra 6 hilos | 1294 m | 0,35 | 452,90 |
| Fibra 2 hilos | 4320 m | 0,10 | 432,00 |
| | | TOTAL (\$) | 14447,70 |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

En la tabla 14-3: se detalla la cantidad y precio unitario de cada uno de los elementos ópticos proyectados a utilizar en el despliegue de la red de distribución y dispersión en la zona de Gatazo Grande, obteniendo un presupuesto de \$ 14447,70

3.5.6. *Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Chico*

Tabla 15-3: Presupuesto de la Red de Distribución y Dispersión para la zona Gatazo Chico

| Elemento | Cantidad | Precio (\$) | Subtotal (\$) |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------|----------------------|
| Mangas | 0 | 85,00 | 0,00 |
| FDHs | 3 | 70,00 | 210,00 |
| Splitter 1:8 fusión | 3 | 12,00 | 36,00 |
| NAPs + Splitter 1:8 conectorizado | 21 | 45,00 | 945,00 |
| Conectores | 576 | 1,00 | 576,00 |
| Roseta | 192 | 5,00 | 960,00 |
| ONTs | 192 | 34,00 | 6528,00 |
| Fibra 12 hilos | 1665 m | 0,55 | 915,75 |
| Fibra 8 hilos | 0 m | 0,45 | 0,00 |
| Fibra 6 hilos | 3380 m | 0,35 | 1183,00 |
| Fibra 2 hilos | 3360 m | 0,10 | 336,00 |
| | | TOTAL (\$) | 11689,75 |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

En la tabla 15-3: se detalla la cantidad y precio unitario de cada uno de los elementos ópticos proyectados a utilizar en el despliegue de la red de distribución y dispersión en la zona de Gatazo Grande, obteniendo un presupuesto de \$ 11689,75.

3.5.7. *Presupuesto total de la red FTTH-GPON en el sector Gatazo*

Tabla 16-3: Presupuesto total de la red FTTH-GPON

| Segmento de Red / Zona | Valor (\$) |
|---|-------------------|
| Red Feeder | 10703,20 |
| Red Distribución y Dispersión: Gatazo Hospital | 16044,20 |
| Red Distribución y Dispersión: Gatazo Elena Zambrano | 14748,90 |
| Red Distribución y Dispersión: Gatazo Zambrano | 13021,25 |
| Red Distribución y Dispersión: Gatazo Grande | 14447,70 |
| Red Distribución y Dispersión: Gatazo Chico | 11689,75 |
| TOTAL (\$) | 80655,00 |

Realizado por: Tenesaca, Milton; 2021.

En la tabla 16-3: se presenta de manera individual el presupuesto del segmento de red feeder y el presupuesto de red de distribución y dispersión de cada una de las zonas de Gatazo, obteniendo un presupuesto de inversión total de la red FTTH-GPON de \$ 80655,00.

CONCLUSIONES

- El estudio de demanda realizado mediante encuestas logró evidenciar la viabilidad de la implementación una red FTTH-GPON en el sector de Gatazo, pues un gran porcentaje 48% y 3% de los ciudadanos del sector Gatazo esta poco satisfecho e insatisfecho respectivamente con su servicio de internet, la gran mayoría mediante red inalámbrica, Por otro lado un 89% de los encuestados les gustaría disponer de planes de internet con mayor disponibilidad y ancho de banda y un 54% estaría dispuesto a contratar servicio de internet mediante fibra óptica por un precio a partir de los \$20 en adelante.
- El estudio de factibilidad de ruta realizado para el tendido aéreo de la red feeder FTTH en el sector de Gatazo, generó como resultado una trayectoria con un total de 153 postes georreferenciados, de los cuales en 142 se eligió utilizar herraje tipo A y en 11 herraje tipo B para garantizar un despliegue exitoso de la fibra óptica. Por consiguiente, se puede afirmar que la ruta de la red de fibra óptica propuesta en este proyecto resultará factible una vez se decida su implementación.
- En base al estudio íntegro del estándar ITU-T G.984.X, se determinó los parámetros técnicos necesarios para realizar el diseño de la red FTTH en el sector de Gatazo, garantizando calidad de servicio al comprometer el diseño de la red de fibra óptica a la normativa de la tecnología GPON clase B+.
- Se diseñó la red FTTH con topología árbol mediante el software TOMODAT2, utilizando inicialmente una relación de splitter 1:128 para los 5 primeros hilos puros del cable de red feeder y posterior para mantener las pérdidas totales dentro de rango de atenuación máxima de la ODN clase B+ se utilizó una relación de splitter 1:64 en los siguientes 9 hilos puros del cable de red feeder. Por lo tanto, se utilizaron un total de 14 puertos del equipo OLT, logrando que la red FTTH-GPON diseñada tenga capacidad de 1216 clientes. Sin embargo se puede disponer de 2 a 10 puertos del equipo OLT adicionales si así lo requiera para una futura expansión de la red.
- Mediante el software web TOMODAT2 se obtuvo el resultado de potencia de recepción para el usuario más cercano del OLT ubicado en la zona de Gatazo Hospital, cuyo valor fue de -21,948 dBm, produciendo una diferencia de -0.001 dBm respecto al resultado calculado del balance óptico de -21,947 sin incluir el valor de margen de seguridad. Siendo el resultado obtenido en la simulación y el teórico calculado muy similares, se comprueba que ambos

resultados son óptimos al ser mayores que el valor de sensibilidad de -27 dBm del equipo ONT.

- Mediante el software web TOMODAT2 se obtuvo el resultado de potencia de recepción para el usuario más lejano del OLT ubicado en la zona de Gatazo chico, cuyo valor fue de -21,554 dBm, produciendo una diferencia de -0.02 dBm respecto al resultado calculado del balance óptico de -21,534 sin incluir el valor de margen de seguridad. Siendo el resultado obtenido en la simulación y el teórico calculado muy similares, se comprueba que ambos resultados son óptimos al ser mayores que el valor de sensibilidad de -27 dBm del equipo ONT.
- El diseño de la red FTTH-GPON realizado en este trabajo de titulación para el sector de Gatazo ha resultado beneficioso para la empresa privada de Riobamba MaxxNet Internet, puesto que desde febrero de 2021 la red de fibra óptica ya se encuentra en fase de implementación y operando de manera progresiva favoreciendo a los usuarios del sector de Gatazo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda antes de diseñar la red FTTH-GPON, realizar un estudio de factibilidad de ruta como el expuesto en el desarrollo de este proyecto o uno similar, para evitar cambios drásticos en el recorrido y asegurar una infraestructura adecuada para un despliegue de fibra óptica exitoso hasta las zonas de cobertura planificadas.
- Para garantizar un correcto funcionamiento del enlace óptico, en la proyección del presupuesto óptico de la red diseñada se debe considerar el peor escenario posible, es decir el valor de atenuación máximo de todos los elementos ópticos de la Red de Distribución Óptica (ODN), respetando el rango de atenuación máxima de 28dB de la ODN clase B+, como establece la recomendación ITU-T G.984.2.
- Para cubrir la demanda de clientes a futuro, en buen diseño de una red FTTH-GPON siempre se debe dejar hilos de fibra óptica de reserva en zonas con alta proyección de crecimiento poblacional, para a futuro poder habilitar nuevas cajas NAPs, o incluso hilos puros de reserva para habilitar nuevos armarios FDHs y así poder expandir la red de manera oportuna y sin grandes inconvenientes.
- Si se selecciona un OLT y ONT de marcas distintas es necesario verificar la existencia de compatibilidad entre los equipos, en los datasheets de los mismos, para garantizar una comunicación exitosa y sin inconvenientes a futuro entre los equipos activos de la red FTTH-GPON.

BIBLIOGRAFÍA

ABREU, M.; et al. “Características generales de una red de fibra óptica al hogar (FTTH)”. Memoria de trabajos de difusión científica y técnica [en línea], 2009, (Uruguay) (7), pp. 38-46. [Consulta: 02 Octubre 2020]. ISSN 1510-7450. Disponible en: <http://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/270>

AREVALO, C. P., & YUNGA, C. A. Análisis de factibilidad de implementación de una red con tecnología PON para la ciudad de Biblian, provincia del Cañar [en línea]. (Tesis Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca - Ecuador. 2011. pp. 8-9. [Consulta: 07 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4203>

AYALA, R. C. Diseño de un Enlace Red Troncal de Fibra Óptica San Mateo - Santa Anita Usando Infraestructura Eléctrica AT MT BT para un Operador de Telecomunicaciones [en línea]. (Tesis Pregrado). Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Villa El Salvador. 2019. pp. 24-25. [Consulta: 06 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/398>

CHOMYCZ, B. *Instalaciones de fibra óptica : fundamentos, técnicas y aplicaciones*. Madrid: McGraw-Hill, 2021, pp. 17-28.

CRUZ, N. E. Diseño de una red FTTx utilizando estándar G.984.x para proveer servicio Triple Play en la zona urbana del cantón Chambo [en línea]. (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2019. [Consulta: 11 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11020/1/98T00243.pdf>

GALLARDO, K. P., & LOJANO, G. I. Planteamiento de normativas y diseño de una herramienta para crear un modelo de diseño de la red interna de servicios de telecomunicaciones con fibra óptica aplicada a soluciones habitacionales de la ciudad de Cuenca para la empresa ETAPA EP [en línea]. (Tesis pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Electrónica, Cuenca. 2014. pp. 47-48. [Consulta: 05 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6564>

GARCÍA, A. Y. *GPON y GPON Doctor Introducción y Conceptos Generales* [en línea]. 2014. [Consulta: 15 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf>

GOMEZ, M., & MOREJON, A. 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]. (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica, Riobamba. 2012. pp. 30-31. [Consulta: 06 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2911>

GUIJARRO, C. G. Diseño de una red de acceso utilizando tecnología APON (ATM Passive Optical Network) para ANDINATEL S / A / en la ciudad de Quito [en línea]. (Tesis Pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito. 2005. pp. 70-72. [Consulta: 07 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5019>

HUAWEI. *Huawei HG8546M, an intelligent routing-type ONT* [en línea]. [Consulta: 09 Enero 2021]. Disponible en: https://www.batna24.com/products/DNXEHQHUEKPN/Hg8546m/HG8546M_datasheet_en.pdf

INEC. *Instituto Nacional de Estadística y Censos* [en línea]. 2010. [Consulta: 16 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manualateral/Resultados-provinciales/chimborazo.pdf>

ITC-ECUADOR. *Redes GPON* [en línea]. 2018. [Consulta: 10 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://itcecu.webfactional.com/servicios/redes-gpon>

ITU-T G.652. *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable* [en línea]. 2016. [Consulta: 10 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-I/es>

ITU-T G.671. *Transmission characteristics of optical components and subsystems* [en línea]. 2019. [Consulta: 10 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.671-201908-I/es>

ITU-T G.984.1. *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics* [en línea]. 2008. [Consulta: 03 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-I/es>

ITU-T G.984.2. *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification* [en línea]. 2019. [Consulta: 03 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-201908-I/es>

ITU-T G.984.3. *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Transmission convergence layer specification* [en línea]. 2014. [Consulta: 04 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3-201401-I/es>

ITU-T G.984.4. *Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): ONT management and control interface specification* [en línea]. 2008. [Consulta: 04 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4-200802-I/es>

ITU-T G.984.5. *Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Enhancement band*. 2014. [Consulta: 04 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.5-201405-I/es>

KEISER, G. *FTTX Concepts and Applications* (Vol. 91). John Wiley & Sons, 2006, pp. 14-15.

LEÓN, C. M. Análisis y diseño de la red FTTH con tecnología GPON para el ISP Troncalnet en el cantón Cañar [en línea]. (Tesis Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. 2015. pp. 41-43. [Consulta: 01 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/9204>

LÓPEZ, E. T. *Módulo 2: Arquitectura FTTH-PON* [en línea]. 2017. [Consulta: 15 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/63429347-Modulo-2-arquitectura-ftth-pon-prof-eduardo-tommy-lopez-phd-ont-central-office-olt-red-interior-especialista-ftth.html>

MARCHUKOV, Y. Desarrollo de una aplicación gráfica para el diseño de infraestructuras FTTH [en línea]. (Tesis Doctoral). Universidad Politecnica de Valencia, Gandía. 2011. pp. 11-15. [Consulta: 15 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/13413>

MINTEL. *Ecuador cuenta con aproximadamente 60 mil kilómetros de fibra óptica* [en línea]. 2016. [Consulta: 03 Octubre 2020]. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/ecuador-cuenta-con-aproximadamente-60-000-km-de-fibra-optica/>

MONTAÑANA, R. *Cables de fibra óptica. Atenuación, ventanas y bandas* [en línea]. 2018. [Consulta: 06 Noviembre 2020]. Disponible en: https://www.aulaalic.es/redes/secuencias/p02_04_05_atenuacion_yt.htm

MORENO, M. Estudio técnico económico de factibilidad para el diseño de redes PON y GPON [en línea]. (Tesis Pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador. 2008. pp. 37-39. [Consulta: 15 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/729>

OSORIO, Á. Redes GPON-FTTH, Evolución y Puntos Críticos para su despliegue en Argentina [en línea]. (Tesis Maestría). Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), Buenos Aires. 2016. pp. 16-20. [Consulta: 03 Octubre 2020]. Disponible en: <https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/787>

PAGUAY, D. V. Estudio de una Red GPON que provea de servicio de voz y datos para el centro comercial la Rotonda de la ciudad de Guayaquil [en línea]. (Tesis Pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 2015. [Consulta: 19 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/6983/1/PAGUAY%20VARGAS%20DIEGO%20ROGELIO.pdf>

PROMAX Electronica. *Tipos de conectores de fibra óptica: Guía sencilla* [en línea]. 2019. [Consulta: 16 Noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.promax.es/esp/noticias/578/tipos-de-conectores-de-fibra-optica-guia-sencilla/#connectors>

QUISNANCELA, E.; & ESPINOSA, N. “Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x”. Enfoque UTE [en línea], 2016, 7(4), pp. 16-30. [Consulta: 04 Octubre 2020]. ISSN 1390-6542. Disponible en: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/enfoqueute/v7n4/1390-6542-enfoqueute-7-04-00016.pdf>

RAMÍREZ, S. J.; & DÍAZ, M. J. “Las redes inalámbricas, más ventajas que desventajas”. Revista Ciencia Administrativa [en línea], 2012, 2, pp. 85-89. [Consulta: 02 Octubre 2020]. Disponible en: <https://www.uv.mx/iiesca/files/2012/12/redes2008-2.pdf>

RODRÍGUEZ, Y. *Fibra óptica* [en línea]. El Cid Editor | apuntes, 2009. [Consulta: 05 Octubre 2020]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/28973>

SUÁREZ, E. J. Estudio y Diseño de una red de Planta Externa con Fibra Óptica y su integración a un equipo GPON para brindar servicios TRIPLE-PLAY [en línea]. (Tesis Pregrado)..

Universidad Israel, Quito. 2015. pp. 25-27. [Consulta: 19 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/705>

TENECORA, I. B. Evaluación del proceso de migración de tecnología ADSL a fibra óptica bajo el estándar g.984.x GPON. Caso de estudio Macas, Morona Santiago [en línea]. (Tesis Maestría). Escuela Superior Politecnica Chimborazo, Riobamba. 2019. pp. 55-57. [Consulta: 17 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9443/1/20T01137.pdf>

TOMASI, W. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* [en línea]. 4ta ed. PEARSON EDUCACIÓN, 2003, pp. 422-442. [Consulta: 05 Octubre 2020]. Disponible en: <http://fernandoarciniega.com/books/sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edicion.pdf>

TOMODAT. *TOMODAT2* [en línea]. 2016. [Consulta: 10 Diciembre 2020]. Disponible en: <http://ww2.tomodat.com.br/#>

TREJO, R. V. Diseño de una red GPON que proporcione el servicio de internet en el sector Yacucalle - Ejido de Caranqui en la Ciudad de Ibarra para la Empresa Telconet S.A [en línea]. (Tesis Pregrado).. Universidad Técnica del Norte, Ibarra. 2016. pp. 89-92. [Consulta: 17 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7188>

TRUJILLO, J. E. Diseño de una red troncal de fibra óptica para el transporte de tráfico de datos en el gobierno autonomo municipal de La Paz [en línea]. (Tesis Pregrado). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. 2015. [Consulta: 20 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/11605>

VALLE, P. S. Estudio y diseño de una red de fibra óptica utilizando la tecnología GPON para brindar servicio de voz, video y datos (triple play) a la ciudad de Macas del cantón Morona de la provincia de Morona Santiago [en línea]. (Tesis Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. 2015. pp. 8-37. [Consulta: 16 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11125>

VEGA, H. A. Desarrollo de una guía técnica para la certificación de instalación de redes GPON FTTH [en línea]. (Tesis Pregrado). Universidad de las Américas, Quito. 2017. pp. 60-62. [Consulta: 16 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/jspui/handle/33000/7629>

VILLACRÉS, J., & MURIEL, A. Estudio y diseño de una red de planta externa de fibra óptica GPON para proveer servicios de voz, video y datos aplicado a la ciudad de Alausí para la CNT Empresa Pública Riobamba [en línea]. (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba. 2016. pp. 7-26. [Consulta: 06 Noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5462>

ZTE. *ZXA10 C320 Datasheet* [en línea]. [Consulta: 09 Enero 2021]. Disponible en: http://www.ztePON.cz/pdf/ZXA10_C320_Datasheet.pdf

ANEXO A

**ENCUESTA REALIZADA A LOS
CIUDADANOS RESIDENTES DEL
SECTOR GATAZO**



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



ENCUESTA

Objetivo: Obtener datos para determinar la necesidad de implementar una red FTTH para proveer de servicio de internet en el sector Gatazo perteneciente al cantón Colta.

Instrucción: Seleccionar la opción deseada

1. El tipo de conexión que usted dispone hacia Internet es mediante:

- a) Radio enlace
- b) Cableado (Fibra Óptica)
- c) Red de telefonía móvil
- d) Enlace satelital
- e) No dispone → (Avance a la pregunta 6)

2. La velocidad (ancho de banda) del servicio de Internet contratado por usted es de:

- a) 2 Mbps simétrico
- b) 3 Mbps simétrico
- c) 5 Mbps simétrico o mayor
- d) Desconoce

3. La frecuencia con la que usted reporta algún tipo de problema de su servicio de Internet es:

- a) Muy Frecuente (más de 5 inconvenientes al mes)
- b) Frecuente (De 3 a 5 inconvenientes al mes)
- c) Poco frecuente (1 o 2 inconvenientes al mes)
- d) Nunca (Ningún inconveniente hasta ahora)

4. El reporte de inconvenientes que usted ha tenido de su servicio de Internet se ha debido a:

- a) Pérdida de conexión por interferencia o por afectación climática (lluvia, niebla u otros)
- b) Capacidad de ancho de banda contratado
- c) Fallas en las instalaciones internas incluidas el computador
- d) Desconoce



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



- 5. De acuerdo con la frecuencia con la que usted reporta algún tipo de problema de su servicio de Internet ¿Qué grado de satisfacción tiene hacia su servicio de Internet?**
- a) Muy satisfecho
 - b) Satisfecho
 - c) Poco Satisfecho
 - d) Insatisfecho
- 6. ¿Conoce usted los beneficios que tiene la fibra óptica para la conexión a Internet?**
- a) Si
 - b) No
- 7. ¿Le gustaría disponer de planes de Internet con mayor disponibilidad y velocidad (ancho de banda) mediante fibra óptica?**
- a) Si
 - b) No
- 8. En un futuro si le ofertaran el servicio de internet, mediante conexión de fibra óptica con planes a partir de 15 Mbps a \$20 en adelante, usted lo contraría?**
- a) Si
 - b) No

ANEXO B

HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EQUIPO OLT ZTE C320

ZXA10 C320 Datasheet

With the requirements of communication services increasing, the value-added services (VAS) including 3D network games, video conference/phone, Video on Demand (VoD) and IPTV are key means for operators to provide differential services to attract more subscribers, and gain income growth.

ZTE ZXA10 C320, a small size, full-service optical access convergent platform, provides carrier class QoS and reliable network to meet the requirements for small-scale implementation of FTTx services.



Key Features

- Unified platform for GPON, XG-PON1 and P2P
- Small size and compact design, flexible network and fast deployment
- 2U frame with 2 service slots, compatible with ZXA10 C300 line cards
- Abundant service support capability: IPTV, VoIP, HSI, VPN, mobile backhaul, etc
- Higher security assurance: ONT authentication, user ID identification, port isolation, address binding, packet filtering, and broadcast packet suppression.
- High reliability: key parts redundancy; support Type B and Type C protection for PON downlink and LACP/ UAPS/STP/ERPS for uplink
- Service differentiation: Comprehensive QoS mechanisms for voice, video and high speed Internet services.
- Support DC input redundancy
- Support AC power supply
- Support 1:1 protection for PON interfaces
- Support 1:1 protection for SW (core card) card
- Support 1588V2 and Synchronous Ethernet
- Support embedded OTDR in SFP

Technical Specifications

■ System Architecture

- Capacity
 - GPON up to 32 ports
 - Uplink interfaces up to 4 *GE (Optical)+2*GE(Electronic) or 2*10GE(Optical)+2*GE(Optical)+2*GE(Electronic)
- Chassis Configuration (19")
 - Total 5 slots
 - 2 slots for universal line cards
 - 2 slots for switch& control cards
 - 1 slot for fan module
- Subscriber Card Density
 - GPON card: 8/16 ports per card
 - XG-PON1 card: 8 ports per card
 - P2Pcard: 24/48 ports per card

ZXA10 C320 Datasheet



- Uplink interface card
 - 1*10GE optical port (Configurable 1*GE optical port)
 - 1*GE optical port
 - 1*10 M/100 M/1000 M electrical Ethernet port
- Common interfaces
 - 1*environment detecting interface
 - 1*management interface
 - 1*maintenance serial interface

■ PON Features

- GPON compliant with ITU G.984.x
- P2P compliant with ITU G.985/G.986
- XG-PON1 compliant with ITU G.987.x and G.988
- Support 1:128 optical split ratio for xPON
- Support OLS (Optical Laser Supervising)
- Max logical reach: 60km
- Max physical reach: 20km
- Max link difference: 20km
- High-efficient DBA: NSR-DBA,SR-DBA
- Synchronous Ethernet
- GPON Transceiver power: Class B+ or class C+
- XG PON1 Transceiver power: Class N1 and N2a
- Type B and type C optical uplink protection
- Support FEC
- Support AES128
- Support SCB
- GPON MCM(Multi-Copy Multicast)
- Support 1550nm for third party CATV broadcasting

■ L2/L3 Features

- 4K VLAN
- 1:1/N:1 VLAN
- 802.1ad, SVLAN, Selective QinQ, VLAN stacking
- Line-rate forwarding
- STP/RSTP/MSTP compliant to IEEE 802.1d/802.1w/802.1s
- UAPS/EAPS/LACP protection
- Link aggregation IEEE 802.3ad
- L3 routing:
 - 12K IPv4 routing forwarding entries
 - IPv4 and IPv6 statistic routing
- Multicast – IPTV
 - 1K Multicast groups
 - IGMP Snooping and proxy (v1/v2/3)
 - MLD V1/ V2, snooping/proxy
 - MVLAN: 256
 - Channel Access Control (CAC), Preview (PRV) and Call Detail Record (CDR) for IPTV
 - Less than 50ms channel zapping delay
- QoS
 - 8 queues per port
 - Queue & scheduling mechanism: SP, WRR, SP+WRR
 - IPv4 DSCP Diffserv
 - Stream classification, rate limiting, shaping and priority setting

ZXA10 C320 Datasheet



- Traffic statistics
- WRED and triple color
- SLA: CIR, PIR, EIR

■ Security

- L2- L4 ACL
- IP and MAC source guard
- Resistance against DOS attacks
- MAC/IP anti-spoofing (MAC binding, IP binding, DHCP snooping)
- Anti-flooding: broadcast packet suppression, IGMP packet suppression, DHCP packet suppression
- MAC address number limit based on VLAN or GEM-port
- Port mirroring
- User port identification such as PPPOE+ and DHCP Option 82

■ O&M

- Operator security, Multi-privileged operator, SSH, FTP/TFTP, ACL
- Management protocol and interface: CLI, Telnet ,SNMP V1/V2C/V3, MIBII
- Remote firmware download and upgrade
- Environment detecting, control and alarm

■ Environment

- Operating temperature: $-40^{\circ}\text{C} \sim 65^{\circ}\text{C}$
- Operating humidity: 5% ~ 95%
- Air pressure: 70 kPa - 106 kPa

■ Power Supply

- DC: $-48\text{V} \pm 20\%$, $-60\text{V} \pm 20\%$;
- AC: 100V~240V

■ Dimensions

- 86.1mm (H) * 482.6mm (W) * 270mm (D)
(19 inch shelf)
- 2200 mm (H) x 600 mm (W) x 300 mm ((D)
(Rack)
- 1035 mm(H) x 770 mm(W) x 460 mm(D)
(Outdoor Cabinet)

ANEXO C

HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS EQUIPO ONT HUAWEI HG8546M

A Smarter Way for Your Broadband Life

Huawei HG8546M, an intelligent routing-type ONT

Smart
service

Smart
interconnection

Smart O&M



○ Device Parameters

| | |
|---------------------------|------------------------------------|
| Dimensions (HxWxD) | 176mm x 138mm x 28mm |
| Weight | < 500g |
| Operating temperature | 0°C ~ +40°C |
| Operating humidity | 5% RH ~ 95% RH , (non-condensing) |
| Power adapter input | 150V ~ 264V AC , 50Hz ~ 60Hz |
| System power supply | 11V ~ 14V DC , 1A |
| Static power consumption | 4.5W |
| Maximum power consumption | 12W |
| Ports | 1POTS + 4FE + Wi-Fi + USB |
| Indicators | POWER/PON/LOS/LAN/TEL/USB/WLAN/WPS |

○ Interface Parameters

| | |
|----------------------|--|
| GPON Port | <ul style="list-style-type: none">• Class B+• Receiver sensitivity: -27dBm• Wavelengths: US 1310nm, DS 1490nm• WBF• Flexible mapping between GEM Port and TCONT• GPON: consistent with the SN or password authentication defined in G.984.3• Bi-directional FEC• SR-DBA and NSR-DBA |
| Ethernet Port | <ul style="list-style-type: none">• Ethernet port-based VLAN tags and tag removal• 1:1 VLAN, N:1 VLAN, or VLAN transparent transmission• QinQ VLAN• Limit on the number of learned MAC addresses• MAC address learning |
| POTS Port | <ul style="list-style-type: none">• Maximum REN: 4• G.711A/μ, G.729a/b, and G.722 encoding/decoding• T.30/T.38/G.711 fax mode• DTMF• Emergency calls (with the SIP protocol) |
| WLAN | <ul style="list-style-type: none">• IEEE 802.11 b/g/n• 2 x 2 MIMO• Antenna gain: 2 dBi• WMM• Multiple SSIDs• WPS |
| USB Port | <ul style="list-style-type: none">• USB2.0• FTP-based network storage |

○ Product Function

Smart Interconnection

- Smart Wi-Fi coverage (V300R015C10)
- SIP/H.248 auto-negotiation
- Any port any service
- Parental control (V300R015C00)

Smart Service

- Smart Wi-Fi sharing:
Portal, 802.1x authentication (V300R015C10)
Soft GRE-based sharing (V300R015C10)
- One account

Smart O&M

- IPTV video quality diagnosis (V300R015C10)
- Variable-length OMCI messages
- Active/Passive rogue ONT detection and isolation
- Call emulation, and circuit test and loop-line test
- PPPoE/DHCP simulation testing
- WLAN emulation

Layer 3 Features

- PPPoE/Static IP/DHCP
- NAT/NAPT
- Port forwarding
- ALG, UPnP
- DDNS/DNS server/DNS client
- IPv6/IPv4 dual stack, and DS-Lite
- Static/Default routes
- Multiple services on one WAN port

Multicast

- IGMP v2/v3 snooping
- IGMP v2 proxy
- IGMP v3 proxy (V300R015C00)
- MLD v1/v2 snooping
- Multicast services through Wi-Fi

Qos

- Ethernet port rate limitation
- 802.1p priority
- SP/WRR/SP+WRR
- Broadcast packet rate limitation

Security

- SPI firewall
- Filtering based on MAC/IP/URL addresses

Common O&M

- OMCI/Web UI/TR069
- Dual-system software backup and rollback

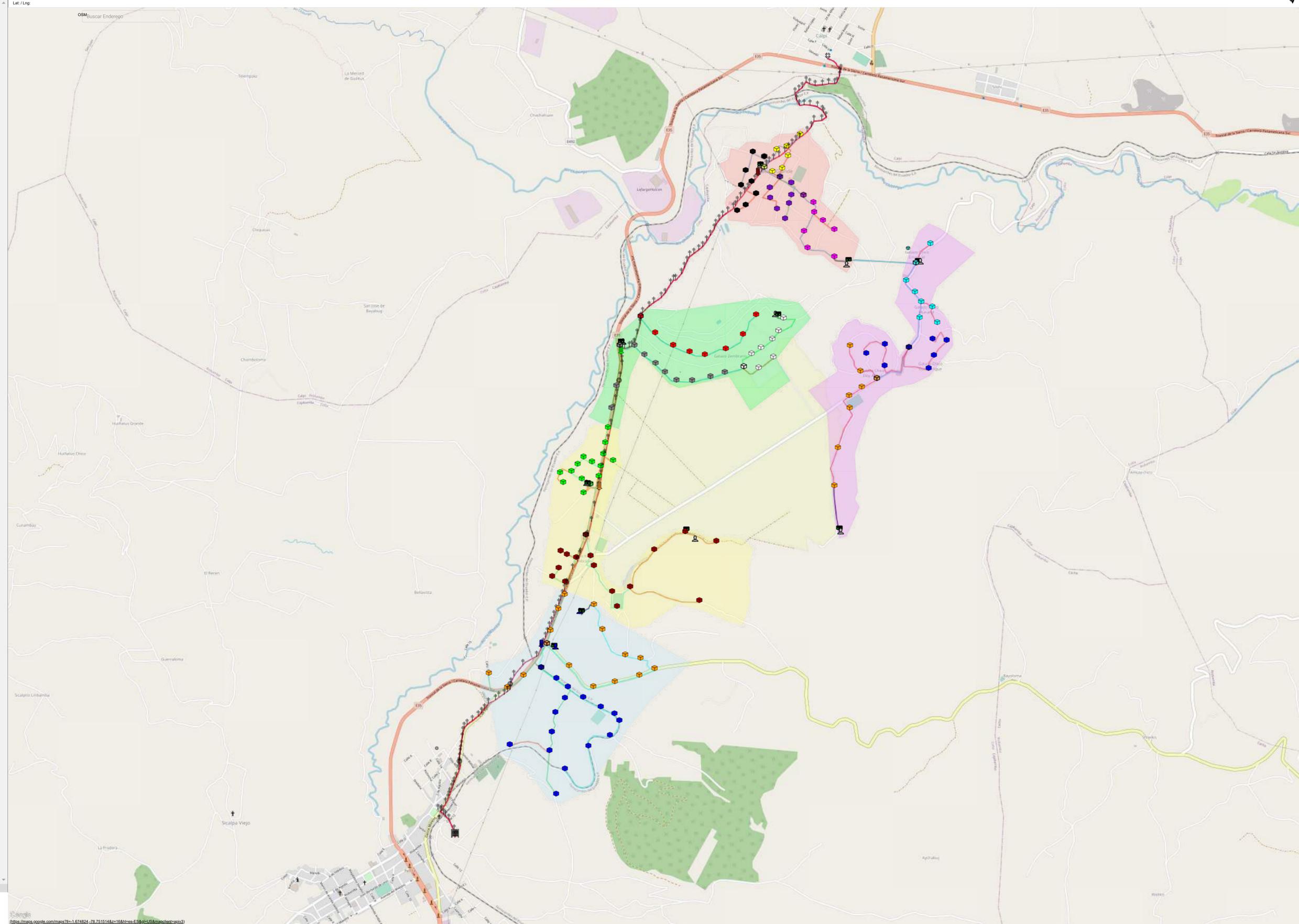
Power Saving

- Dynamic power saving
- Indicator power saving
- Scheduled Wi-Fi shutdown (V300R015C00)

ANEXO D

DISEÑO DE LA RED FTTH - GPON EN EL SECTOR GATAZO

- CHAMBO LICTO
- CHAMBO RIOBAMBA
- CLIENTE RED VILLAMARIA
- ECU911
- NODO CAJABAMBA
- NODO CHAMBO
- NODO CUBUES
- NODO ESFUERZO
- NODO GUASLAN
- NODO GUISSAGTE
- NODO LICTO
- NODO MATUS
- NODO PENIPE
- NODO PRIMAVERA
- PROYECTO NUEVO AMANECER
- RED CHINGAZO
- RED EL TROJE
- RED RIOBAMBA
- RED TROJE
- RUTA QUIMAC
- RUTA SAN ANTONIO DEL AREOPUERTO
- RUTA-ALMAGRO Y ESMERALAS
- SS MACAJI
- Zhova Paola
- RACONOTI_CUBUES
- FDI-MT
- MT2
- MT3-G2
- caja punha
- SN
- SN
- SN
- CAMLO
- FEDEER_GUSLAN 2
- FEEDER 2
- FIBBER SAN GERARDO
- Fider_SanClemente
- GUASASO
- IN_OUT_CUBUES
- RUTA 1
- ruta 1
- RUTA ESPERANZA
- Ruta-C-12H
- union
- UNION
- Anibal Vallejo Merino
- Bryan Haro Ayerve
- Carlos Vallejo Merino
- Carmen Diaz Paravo
- Cliente de nome indefinido
- Cristobal Ayene Medina
- Diego Merino Calufa
- Edison Rodriguez Chavez
- Fausto Tienes Ramirez
- Jose Jimenez
- José Haro Ayerve
- MARIA MORENO PAEZ
- Romulo Ayerve Medina
- Rosa Frey Robalino
- Rosa Silva Molina



ANEXO E

**AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA
MAXXNET INTERNET PARA
DESARROLLO DEL PROYECTO**

Riobamba, 22 de octubre de 2020

Ingeniero

Patricio Romero

DIRECTOR DE LA CARRERA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES

Presente

De mi consideración:

Por medio de la presente nos complace comunicar que en petición del señor Milton Ismael Tenesaca Allauca con CC:092861430-4, estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica en Telecomunicaciones y redes, nos comprometemos como empresa a brindar todas las facilidades tanto de información como herramientas tecnológicas necesarias para el desarrollo del trabajo de titulación denominado "DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA RED FTTH UTILIZANDO EL ESTÁNDAR ITU-T G.984.X MEDIANTE EL SOFTWARE TOMODAT2 PARA PROVEER SERVICIO DE INTERNET EN EL SECTOR DE GATAZO PARA MAXXNET INTERNET EMPRESA PRIVADA"

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente;

.....
Ing. Leonardo Benalcázar
GERENTE MAXXNET INTERNET





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



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

Fecha de entrega: 20/07/2021

| | |
|---|---|
| INFORMACIÓN DEL AUTOR | |
| Nombres – Apellidos: MILTON ISMAEL TENESACA ALLAUCA | |
| INFORMACIÓN INSTITUCIONAL | |
| Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA | |
| Carrera: INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES | |
| Título a optar: INGENIERO ELECTRÓNICO EN TELECOMUNICACIONES Y REDES | |
| f. Analista de Biblioteca responsable: |  Firmado electrónicamente por: ELIZABETH FERNANDA AREVALO MEDINA |

