

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

MENCIÓN REDES DE COMUNICACIONES

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

PLAN DE DISERTACIÓN

"ESTUDIO PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO GPON, PARA LA CIUDAD DE LORETO EN LA PROVINCIA DE ORELLANA. CASO DE ESTUDIO "LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP"

AUTOR: DORIAN IVÁN PARDO PARDO

QUITO, 2021

INTRODUCCIÓN

Las redes cableadas de fibra óptica en la actualidad tienen un gran performance y específicamente para el caso de Ecuador, muchos proveedores de internet están migrando sus redes existentes con tecnologías de radio o redes cableadas con tecnología de cobre hacia redes cableadas con tecnología de fibra óptica, ya que este tipo de redes están cubriendo las necesidades de los clientes que a la actualidad demandan, haciendo que este tipo de industria se vuelva más competitiva cada día entre los diferentes actores del mercado.

Al estar en un mundo competitivo en las telecomunicaciones, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, no puede quedarse atrás de muchas otras operadoras de internet, por ende, en la localidad de Loreto, provincia de Orellana se ha creído necesario un estudio para una red de acceso GPON para clientes residenciales de fibra óptica que permita brindar servicios de voz y especialmente internet, el mismo que en la actualidad está cambiando la manera de hacer negocios, la educación, tele trabajo, turismo, etc., y con ello brindar velocidades superiores a las que actualmente puede ofertar con su tecnología de cobre en la ciudad de Loreto, modernizando su infraestructura activa y pasiva.

JUSTIFICACIÓN

En esta investigación se hace un análisis de la situación actual en la localidad de Loreto de los servicios telefonía e internet de acceso masivo residencial, los que son ofrecidos a través de tecnologías de cobre, constituyéndose en servicios deficientes, que no cumplen con los requerimientos de los usuarios; determinándose que es necesario realizar un mejoramiento de la red de acceso a través de tecnologías de fibra óptica, para lo cual en la presente investigación se realizará un estudio, diseño y la comparación del presupuesto óptico de la red de acceso GPON (Gigabit Passive Optical Network) del presente caso de estudio, con una red real con la herramienta iOLM (Intelligent Optical Link Mapper) del OTDR (Optical Time Domain Reflectometer). En Loreto, con la tecnología GPON lo que se espera es, posibilitar mejorar los parámetros técnicos como ancho de banda y velocidad de navegación y satisfacer las necesidades del cliente; ya que la red actual que la empresa CNT EP dispone no lo permite, para clientes residenciales principalmente, ya que para los clientes corporativos, la CNT EP, mantiene otro esquema de red.

Con el pasar del tiempo, la población en Loreto se ha incrementado, generando una mayor necesidad de servicios, mayor tráfico, especialmente de datos, esto ha ocasionado un

aumento en requerimientos de ancho de banda. Por ello es necesario realizar un levantamiento de los clientes que ya tienen el servicio con CNT EP, así como posibles futuros clientes que aún no disponen del servicio, a través de la tecnología de fibra óptica; esto permitirá establecer el modelo de diseño de la red GPON, estableciendo la zonificación o área de cobertura de la red de acceso para la ciudad de Loreto, en base al nivel de información recopilada de supuestos usuarios que contratarán el servicio, con la nueva tecnología.

Una vez establecido el modelo de diseño de la red, esto de acuerdo a la demanda de clientes y también de acuerdo al área de cobertura, para el despliegue de la red, el modelo de diseño de red permitirá minimizar o reducir recursos económicos, y así recuperar la inversión en el menor tiempo posible.

En la actualidad, la tecnología está cambiando continuamente, muchas empresas multinacionales desarrollan diferentes marcas y características de equipos activos de cliente final, por ende es necesario establecer y recomendar para la red de acceso con fibra óptica, los equipos activos que se adapten, de acuerdo al entorno geográfico y económico de la localidad y que los mismos cubran los requerimientos de ancho banda de los clientes en sus hogares y establecer velocidades de navegación de acuerdo al plan contratado, lo que actualmente con la tecnología de cobre no es posible.

Finalmente se verificará el presupuesto óptico de la red GPON diseñada del presente caso de estudio para la distancia más alejada desde el nodo principal y la distancia más cercana desde el nodo principal, y con la herramienta iOLM del OTDR se realizará la medición de una red GPON real activa, para comparación de los valores de atenuación y potencia óptica con la red GPON diseñada en el presente caso de estudio.

ANTECEDENTES

Con la presente investigación se pretende realizar un estudio, diseño y comparación de los resultados de la red GPON diseñada con fibra hasta el hogar FTTH (Fiber To The Home); con una red GPON desplegada real existente y con ello posibilitar mejorar los servicios de telecomunicaciones principalmente de datos en la localidad de Loreto, provincia de Orellana; migrando a la nueva tecnología los clientes existentes y atendiendo nueva demanda.

El estudio realizado por (Salvatierra, 2017), servirá para analizar la arquitectura de la red FTTH, así como también para un mejor entendimiento del funcionamiento de una red GPON.

El documento desarrollado por (Conde, Hernández, Quezada, & Navarra, 2019), servirá igualmente como guía para consolidar algunos principios de la tecnología de fibra óptica GPON).

El estudio desarrollado por (Tenecora, 2019), servirá de guía para el levantamiento de demanda de los clientes que actualmente la empresa dispone en la localidad, así como también para estimar futuros clientes; para establecer la proyección de demanda se tomará como referencia el documento (Serrano, 2016).

Una vez que se tenga establecida la demanda de clientes es necesario empezar con el diseño de la red, para lo cual la CNT EP, tiene desarrollado varias normativas, las mismas que ayudarán significativamente en el esquema de diseño, a saber:; "Normativa de construcción de planta externa con fibra óptica ODN" (Palacios, y otros, 2016); "Normativa técnica de diseño de planta externa con fibra óptica ODN (Optical Distribution Network)" (CNT EP, 2016); "Norma Técnica para Dibujo de Redes de Planta Externa" (CNT EP, Gerencia de Implementación, 2015).

El estudio realizado por (Agila, 2019) y (García R. , 2019); aportará significativamente en la estructura y dimensionamiento de la red GPON, así como también el caso de estudio desarrollado por (Tenecora, 2019), será una guía para el presente caso de estudio en la etapa de diseño.

En la etapa de definición de equipos activos requeridos en el diseño, es necesario conocer los parámetros y características técnicas de los mismos, para poder establecer o recomendar equipos para la red en la localidad de Loreto. El estudio desarrollado por (Jirachariyakool, Sra-ium, & Lerkvaranyu, 2017), aportará en esta fase de la investigación.

El Instructivo para la configuración de la ONT HG8245 en modo Triple Play (Voz Video e Internet) para un cliente del segmento masivo (Gerencia de Ingeniería CNT EP, 2016), servirá de guía para el entendimiento de los parámetros y configuración de los equipos activos, como por ejemplo umbral de recepción, niveles de potencia, etc. Así mismo el documento realizado por (Hadziabdic, y otros, 2019) servirá para contar con un enfoque de los fabricantes a nivel global de equipos activos.

"La tecnología de red óptica pasiva Gigabit (GPON) que utiliza fibra óptica se ha utilizado ampliamente para servicios de banda ancha fija y se ha convertido en una solución

masiva". (Hantoro & Wibisono, 2018), dicho paper aportará en la presente investigación para entender el funcionamiento de equipos activos de cliente final, así como también escoger los mismos de acuerdo a las mejores características.

El estudio realizado por (García J. , 2019) servirá para identificar los parámetros de configuración de equipos de cliente final.

Finalmente, el estudio realizado por (Camino, 2018), (Velasco Rivera, 2018) y (Panchi, 2016), aportarán en esta investigación en la etapa de cálculo de presupuesto óptico de la red.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio para el diseño de la red rígida de acceso, con spliteo 1/64, con tecnología GPON, para la ciudad de Loreto, provincia de Orellana, para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, mejorando el ancho de banda y velocidad en los clientes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Levantar información de cantidad de clientes existentes y posibles clientes nuevos en la ciudad de Loreto, para el diseño de la red de fibra óptica hasta el hogar FTTH.
2. Diseñar una red de acceso masivo FTTH, para la ciudad de Loreto, provincia de Orellana, que cubra toda la demanda proyectada de usuarios usando la herramienta AutoCAD y bajo las normativas vigentes de la CNT EP.
3. Recomendar marcas de equipos activos de cliente final para una red de planta externa (acceso masivo) con tecnología GPON, a través de los diferentes fabricantes actuales en el mercado.
4. Verificar el presupuesto óptico de la red GPON propuesta en el presente estudio, y su comparación con la medición de una red GPON real, a través del software iOLM del OTDR de EXFO.

Contenidos

INTRODUCCIÓN 2
JUSTIFICACIÓN 2
ANTECEDENTES 3
OBJETIVO GENERAL 5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 5
Índice de figuras 8
Índice de tablas 11
Índice de ecuaciones 13
RESUMEN 14
Capítulo 1: MARCO TEÓRICO 15
1.1. Demanda existente y demanda nueva (CENSO) 15
1.2. Área de cobertura (zonificación) 16
1.3. Red ODN 17
1.4. Red Feeder 18
1.4.1 ODF 19
1.4.2 Rack de planta externa 19
1.4.3 Manga de Empalme 20
1.4.4 Splitter 20
1.5. Red de Distribución 21
1.5.1 FDH 22
1.5.2 NAP 22
1.6. Red de Dispersión 23
1.7. Modelos de redes FTTH 24
1.8. Recomendaciones ITU estándar G652 25
1.9. Equipos activos 28
1.10. Presupuesto óptico 30
1.11. Prueba Reflectométrica y Prueba de Potencia Óptica 32
1.12. Equipos de medición para redes ODN: 33
1.12.1 OTDR 34
1.12.2 Power meter 34
1.12.3 Sonda inspectora de fibra (FIP) 35

1.12.4 Localizador visual de falla (VFL) 35
1.13. Presupuesto económico 36
1.13.1 VAN 36
1.13.2 TIR 37
1.13.3 PRI 37
Capítulo 2: LEVANTAMIENTO DE DEMANDA Y ÁREA DE COBERTURA 38
2.1. Área de Cobertura (zonificación) 38
2.2. Levantamiento de demanda existente y proyectada 41
2.2.1 Demanda Actual e Insatisfecha 43
2.2.2 Demanda Proyectada 47
Capítulo 3: DISEÑO DE LA RED FTTH GPON 52
3.1. Análisis normas ITU para redes FTTH-xPON 52
3.2. Análisis y selección del modelo de la red FTTH GPON 55
3.3. Diseño de la red FTTH-GPON 56
Capítulo 4. EQUIPOS ACTIVOS PARA REDES FTTH-GPON 69
4.1. Análisis y características de equipos activos para redes FTTH de cliente final ... 69
4.2. Recomendación equipos activos para red FTTH-GPON diseñada 73
Capítulo 5. VERIFICACIÓN DEL PRESUPUESTO ÓPTICO DE LA RED GPON 76
5.1. Presupuesto referencial y volúmenes de obra 76
5.2. Cálculo del presupuesto óptico de la red GPON y comparación con la medición de una red GPON real, a través del iOLM del equipo OTDR de EXFO 78
5.3. Mediciones de pérdidas de una ODN GPON real versus ODN GPON diseñada. 82
Capítulo 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 86
6.1. Conclusiones 86
6.2. Recomendaciones 87
7. Bibliografía 89
8. Anexos 97

Índice de figuras

Figura 1- 1. Ejemplo censo mostrado en un plano geo referencial. (Pardo, 2020) 15
Figura 1- 2. Límite de los 3 equipos OLTs instalados en la Central de Mariscal (Nodo Óptico), establecido en base a los límites de la Central Telefónica de Mariscal. (CNT EP, 2016)..... 17
Figura 1- 3**.** Elementos pasivos de la ODN (feeder, distribución, dispersión). (Agila, 2019) 18
Figura 1- 4**.** Ejemplar de ODF 96 puertos SC/APC. (Global Electric S.A., s.f) 19
Figura 1- 5**.** Ejemplar de rack para alojamiento de ODF. (Palacios, y otros, 2016)..... 20
Figura 1- 6. Ejemplar de manga Domo 6 accesos. (Global Electric S.A., s.f) 20
Figura 1- 7**.** Ejemplar de splitter PLC óptico 1:8. (García R. , 2019) 21
Figura 1- 8. Ejemplar de armario GPON-FDH. (COMMSCOPE, 2020) 22
Figura 1- 9. Ejemplar NAP de 12 puertos. (Tenecora, 2019)..... 23
Figura 1- 10. Roseta óptica de abonado FO con 2 adaptadores SC/UPC. (Global Electric S.A., s.f)..... 24
Figura 1- 11. Modelo masivo con armario FDH spliteo 1/32. (Santamaria, y otros, 2017) 25
Figura 1- 12. Modelo masivo con manga spliteo 1/64. (Santamaria, y otros, 2017)..... 25
Figura 1- 13. Categorías de la fibra ITU-T G.652. (Panchi, 2016) 26
Figura 1- 14. Características ópticas, geométricas y mecánicas de la fibra óptica. (Agila, 2019)..... 27
Figura 1- 15. Ejemplares de Equipo Terminal de Línea Óptico - OLT. (Salvatierra, 2017), (Palacios, y otros, 2016) 29
Figura 1- 16. Ejemplar de ONT Huawei HG8245. (Tenecora, 2019)..... 29
Figura 1- 17. Plantilla para presupuesto óptico CNT EP. (Pardo, 2020) 32
Figura 1- 18. Prueba reflectométrica de un hilo de fibra óptica con OTDR EXFO y uso de la herramienta iOLM del OTDR. (Pardo, 2020) 33
Figura 1- 19. Ejemplar modelos OTDR PROMAX. (PROMAX, 2019) 34
Figura 1- 20. Ejemplar Power Meter. (TRIPLEE, 2020) 35
Figura 1- 21. Ejemplar Sonda Inspectora de fibra de EXFO. (EXFO, 2019) 35
Figura 1- 22. Ejemplar modelos VFL. (TELPRO, 2019)..... 36

Figura 2- 1. Área de cobertura red GPON Loreto. (Pardo, 2020) 40

Figura 2- 2. Porcentaje de habitantes que cuenta con servicio de telefonía fija. (Pardo, 2020) 44
Figura 2- 3. Porcentaje de habitantes que cuenta con servicio de internet. (Pardo, 2020) .. 44
Figura 2- 4. Porcentaje de empresas que proveen el servicio de internet en Loreto. (Pardo, 2020) 45
Figura 2- 5. Porcentaje de conformidad de los servicios de internet Loreto. (Pardo, 2020)45
Figura 2- 6. Porcentaje de usuarios que desean contratar el servicio con fibra óptica. (Pardo, 2020) 46
Figura 2- 7. Crecimiento de Demanda Proyectada. (Pardo, 2020) 50

Figura 3- 1. Estándares PON y estándares IEEE. (Straullu, Abrate, & Gaudino, 2015) 53
Figura 3- 2. Estándares PON y su evolución. (Moreno & Fábrega, 2018) 54
Figura 3- 3. Evolución de estándares de la ITU-T para redes PON. (Loayza, 2019) 54
Figura 3- 4. División del área de cobertura Red ODN Loreto. (Pardo, 2020) 57
Figura 3- 5. Ubicación OLT Central Loreto-CNT EP. (Pardo, 2020) 58
Figura 3- 6. Crecimiento de velocidades de internet fijo en todo el mundo. (CISCO, 2018) 59
Figura 3- 7.Chasis OLT MA5600T. (Huawei Technologies CO., LTD., 2017) 61
Figura 3- 8. Ruta del feeder Loreto-CNT EP (Pardo, 2020) 62
Figura 3- 9. Ubicación de mangas troncales y recorrido del feeder Loreto-CNT EP. (Pardo, 2020) 63
Figura 3- 10. Código internacional de colores (TIA/EIA-598-B. (Agila, 2019) 64
Figura 3- 11. Parámetros técnicos de un splitter PLC. (López E. , 2013) 66
Figura 3- 12. Diseño Red de Distribución AUTOCAD (Pardo, 2020) 66
Figura 3- 13. Parámetros técnicos de un splitter PLC. (ANVIMUR, s.f) 67
Figura 3- 14. Características NAP, para el presente caso de estudio. (Lozano, 2018) 68
Figura 3- 15. Diseño Red feeder y Distribución para la MT01. (Pardo, 2020) 68

Figura 4- 1. Ingreso a configuración de equipo HG8245H. (Pardo, 2020) 74
Figura 4- 2. Información óptica del equipo instalado en un cliente. (Pardo, 2020) 74
Figura 4- 3. Configuración de VLAN 20 para internet, VLAN 10 para telefonía (Pardo, 2020) 75

Figura 5- 1. Cálculo de atenuación MT01-Loreto. (Pardo, 2020)..... 79
Figura 5- 2. Cálculo de atenuación MT02-Loreto. (Pardo, 2020)..... 80
Figura 5- 3. Cálculo de atenuación MT03-Loreto. (Pardo, 2020)..... 80
Figura 5- 4. Prueba reflectométrica de una ODN real. (Pardo, 2020)..... 83
Figura 5- 5. Medidas de potencia de una ODN real sin clientes, con el equipo OTDR de EXFO. (Pardo, 2020)..... 84
Figura 5- 6. Pruebas de iOLM en una red activa. (Pardo, 2020)..... 85
Figura 5- 7. Prueba de atenuación(dB) y potencia(dBm) en una red GPON activa con OTDR. (Pardo, 2020) 85

Índice de tablas

Tabla 1- 1. Tipo de splitter y su aplicación. (Palacios, y otros, 2016) 21
Tabla 1- 2. Recomendaciones G.984. (Pardo, 2020)..... 30
Tabla 1- 3. Niveles de potencia de bajada a 2.4Gbit/s y subida 1.2Gbit/s. (ITU I.-T. T., 2019)..... 30
Tabla 1- 4. Pérdida de presupuesto óptico para sistemas GPON. (ITU I.-T. T., 2019) 31
Tabla 1- 5. Atenuación por tipo de splitter. (Santamaria, y otros, 2017) 31
Tabla 1- 6. Atenuación por inserción. (Santamaria, y otros, 2017)..... 31

Tabla 2- 1. Estadísticas INEC. (INEC, 2017)..... 39
Tabla 2- 2. Tarifa de internet a nivel nacional CNT EP, servicios residenciales. (CNT EP, 2020)..... 40
Tabla 2- 3. Tarifa de internet a nivel nacional CNT EP, servicios corporativos. (CNT EP, 2020)..... 41
Tabla 2- 4. Tarifa de telefonía residencial a nivel nacional CNT EP. (CNT EP, 2020)..... 41
Tabla 2- 5. Clientes de telefonía fija e internet CNT EP, Loreto. (CNT EP, 2020)..... 43
Tabla 2- 6. Usuarios que cuentan con servicio de telefonía fija. (Pardo, 2020)..... 43
Tabla 2- 7. Usuarios que cuentan con servicio de internet. (Pardo, 2020)..... 44
Tabla 2- 9. Proyección Referencial de población en zona urbana y rural en Loreto. (INEC, 2017)..... 47
Tabla 2- 10. Tasa crecimiento anual poblacional Loreto. (Pardo, 2020) 48
Tabla 2- 11. Datos históricos de población estimada en zona urbana Loreto (usuarios potenciales). (Pardo, 2020)..... 48
Tabla 2- 12. Tabla de datos para encontrar la recta de regresión de Y sobre X. (Pardo, 2020)..... 49
Tabla 2- 13. Población estimada en sector Urbano Loreto hasta 2025. (Pardo, 2020) 49
Tabla 2- 14. Demanda proyectada por familias hasta el 2025. (Pardo, 2020)..... 50
Tabla 2- 15. Datos de Cuentas y de Usuarios estimados de Internet Orellana. (ARCOTEL, 2018)..... 51
Tabla 2- 16. Cuentas del Servicio de Acceso a Internet Fijo y Móvil a nivel nacional. (ARCOTEL, 2018)..... 51

Tabla 3- 1. Ubicación de mangas troncales y distancia a la OLT. (Pardo, 2020) 63
Tabla 3- 2. Asignación de fibras del cable feeder a cada splitter. (Pardo, 2020) 65

Tabla 4- 1. Fabricantes de equipos activos ONT. (Pardo, 2020) 69
Tabla 4- 2. Especificaciones del puerto GPON. (Huawei Technologies CO., LTD., 2013)70
Tabla 4- 3. Especificaciones del puerto GE ethernet. (Huawei Technologies CO., LTD., 2013)..... 70
Tabla 4- 4. Indicadores de acceso a red Wireless y detalles del equipo. (Huawei Technologies CO., LTD., 2013)..... 70
Tabla 4- 5. Especificaciones del puerto GPON. (ZTE Corporation, f.s)..... 71
Tabla 4- 6. Especificaciones del puerto GE ethernet. (ZTE Corporation, f.s) 71
Tabla 4- 7. Indicadores de acceso a red Wireless y detalles de equipo. (ZTE Corporation, f.s)..... 71
Tabla 4- 8. Especificaciones del puerto GPON. (YCICT CO, LIMITED, f.s) 72
Tabla 4- 9. Especificaciones del puerto GE ethernet. (YCICT CO, LIMITED, f.s)..... 72
Tabla 4- 10. Indicadores de acceso a red Wireless y detalles de equipo. (YCICT CO, LIMITED, f.s) 72

Tabla 5- 1. Inversión total del proyecto. (Pardo, 2020)..... 77
Tabla 5- 2. Cálculo del valor actual neto. (Pardo, 2020)..... 77
Tabla 5- 3. Flujo de caja. (Pardo, 2020)..... 78
Tabla 5- 4. Resumen VAN y TIR. (Pardo, 2020)..... 78
Tabla 5- 5. Atenuación de elementos pasivos de una ODN real obtenida con OTDR EXFO. (Pardo, 2020) 84

Índice de ecuaciones

Ecuación 1- 1. Valor Actual Neto. (Komiya, 2019)..... 36
Ecuación 1- 2. Periodo de Recuperación de la Inversión. (Universidad ESAN , 2017) 37

Ecuación 2- 1. Tamaño de la muestra. (Morales, 2013)..... 42
Ecuación 2- 2. Ecuación para cálculo de demanda insatisfecha. (Panchi, 2016)..... 45
Ecuación 2- 3 Tasa de crecimiento poblacional anual. (Simancas, 2019) 47
Ecuación 2- 4. Cálculo de población futura. (Simancas, 2019) 48
Ecuación 2- 5. Índice de crecimiento relativo. (Panchi, 2016)..... 48
Ecuación 2- 6. Recta regresión lineal bidimensional Y sobre X. (Sebastian, 2015)..... 48
Ecuación 2- 7. Variancia de X. (Sebastian, 2015)..... 49
Ecuación 2- 8. Covariancia. (Sebastian, 2015)..... 49
Ecuación 2- 9. Regresión lineal estudio estadístico. (Pardo, 2020) 49

Ecuación 3- 1. Coeficiente de crecimiento de velocidad de internet (Loayza, 2019)..... 59
Ecuación 3- 2. Determinación del ancho de banda y nivel de spliteo óptimo (Loayza, 2019).. 59

Ecuación 5- 1. Cálculo de atenuación ODN. (Pardo, 2020)..... 79

RESUMEN

El presente documento consistirá en realizar el levantamiento de demanda de posibles clientes potenciales para el presente caso de estudio, esto es en la ciudad de Loreto, para ello previamente se analizará los conceptos teóricos necesarios que intervienen para la realización del caso de estudio. Una vez establecida la demanda de clientes, se realizará el diseño de la red de acceso de fibra óptica, en base a normativas establecidas por la empresa, asi como las recomendaciones G.984.x de la ITU, y el cálculo del presupuesto óptico o cálculo de atenuaciones de la ODN. Se realizará las recomendaciones de equipos activos para el presente caso de estudio. Adicionalmente para efectos de comparación se realizará mediciones atenuación y potencia de diferentes ODN ya desplegadas, a través del OTDR con la herramienta iOLM del equipo usando el software fast reporter para la generación de informes. Finalmente se establecen conclusiones y recomendaciones obtenidas de la elaboración del presente trabajo.

Palabras clave: ODN, GPON, OTDR, VAN, TIR, presupuesto óptico y FTTH

Capítulo 1: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se abordará principalmente los contenidos teóricos relacionados a la tecnología GPON, para entender los distintos elementos que intervienen en el esquema de funcionamiento de una red de acceso cableada por fibra óptica GPON; así como también conceptos para recuperación de inversión en una industria altamente competitiva.

1.1. Demanda existente y demanda nueva (CENSO)

El levantamiento de demanda de clientes nuevos y clientes que ya cuentan con el servicio con CNT EP, se hace inicialmente con planos de la localidad en donde se va a realizar el proyecto, se puede utilizar software para descargar los mapas de las localidades donde se pretende levantar una demanda, el QGIS (Sistema de información Geográfica) es una buena herramienta para trabajar en esta fase del proyecto. (CNT EP, 2016).

Luego de ello se procede a realizar el levantamiento de demanda con dichos planos recorriendo las manzanas o cuadra a cuadra, es importante destacar que mientras más precisa sea la información, el diseño será mucho más exacto, y en lo posible se debe considerar la realización de encuestas a los potenciales clientes para tener conocimiento si el servicio que actualmente disponen satisface sus necesidades o a su vez si desean contratar servicios nuevos, principalmente de internet. En la figura 1-1 se indica el levantamiento de demanda en campo, con planos georerefenciados entregados por el municipio de la localidad.

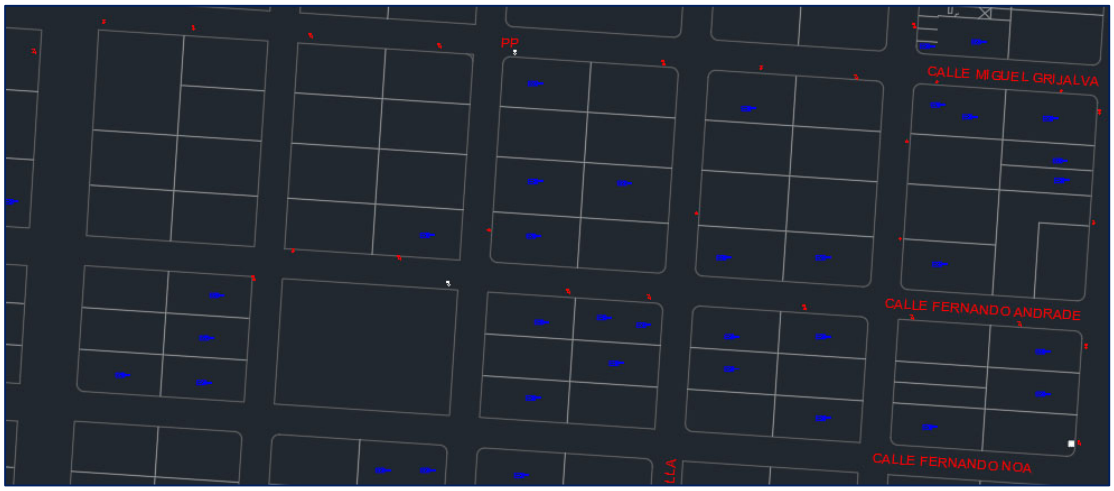


Figura 1- 1. Ejemplo censo mostrado en un plano geo referencial. (Pardo, 2020)

1.2. Área de cobertura (zonificación)

La zonificación o área de cobertura se la realiza en base a la ubicación de la OLT (Optical Line Terminal); teniendo en cuenta que previo a ello se debe tener un conocimiento de la demanda de clientes que se quiere atender y según ello se realiza la instalación de la o las OLT, las mismas que están instaladas dentro de una central o nodo principal, aunque también existen equipos que se pueden instalar fuera de una central o nodo. Dependiendo de la densidad poblacional del sector donde se va a realizar un despliegue de redes GPON y para crecer ordenadamente con la red GPON y en base al número de OLT se debe tener varios criterios, por mencionar dos:

- Dependiendo de la demanda de clientes se determina la cantidad requerida de OLTs y en base a ello se establece la cobertura de la misma.
- Se debe considerar la Norma Técnica de Diseño de ODN realizada por la CNT EP, para determinar la cobertura del nodo de acuerdo al modelo del diseño.

Se debe tener en cuenta la geografía de la localidad; una vez hecho el censo se puede verificar si es posible físicamente la realización de un despliegue de redes cableadas, ya que puede existir obstáculos geográficos que impidan un despliegue correcto de la red, como por ejemplo ríos, montañas, avenidas de alto tránsito, trabajos de regeneración urbana llevados a cabo por los municipios, trabajos de la empresa eléctrica, etc.

Para el tendido de un feeders[1] de gran capacidad, de acuerdo con la Norma Técnica de Diseño de ODN de la CNT EP., se debe de preferencia utilizar ductos soterrados. Así también de acuerdo a la densidad poblacional de la ciudad, y en base a la demanda, se instala los equipos activos OLTs, por ejemplo, para la ciudad de Quito al ser una ciudad con bastante densidad poblacional es necesario establecer la cantidad de OLTs a instalar, y la cantidad de feeders por cada OLT y establecer los límites que cubrirán cada OLT y, para el caso del presente estudio, en la ciudad de Loreto, al ser una ciudad con baja densidad poblacional con una OLT y con un feeder podría ser suficiente para abarcar toda la ciudad. En la figura 1-2 se puede apreciar los límites de acuerdo a cada OLT para una zona de gran densidad poblacional en Quito. (CNT EP, 2016).

[1] **Feeder:** Cable canalizado de gran capacidad que sale desde la central. (Santamaria, y otros, 2017, pág. 52)



Figura 1- 2. Límite de los 3 equipos OLTs instalados en la Central de Mariscal (Nodo Óptico), establecido en base a los límites de la Central Telefónica de Mariscal. (CNT EP, 2016)

1.3. Red ODN

La red ODN (Optical Distribution Network), está constituida por elementos pasivos como son los divisores ópticos, el tendido del cable de fibra óptica, entre otros. La conforman la red feeder, red de distribución y red de dispersión. (Agila, 2019).

En una red GPON se debe considerar que el presupuesto óptico no supere los 28 dB, incluido el margen de seguridad de 3dB, debido a las atenuaciones en toda la ODN, según la clase B+ que es la más utilizada, y de esa forma el diseño de una red GPON cumple los parámetros técnicos establecidos para que al equipo del cliente le llegue un nivel correcto de señal y se le asigne un adecuado ancho de banda; para ello se considera todos los elementos pasivos que conforman la ODN desde la OLT hasta la ONT (Optical Network Terminal), siendo el divisor óptico o splitter ya sea en la red feeder o en la red de distribución el que mayor atenuación causa de los elementos pasivos. Entre otros elementos pasivos que intervienen en una ODN, empezando desde la OLT se tiene: los ODF (Optical Distribution Frame), los armarios o FDH (Fiber Distribution Hub), mangas, splitters, NAP (Network Access Point), y las rosetas ópticas. En la figura 1-3 se puede apreciar un esquema de todos los elementos que intervienen en una red ODN.

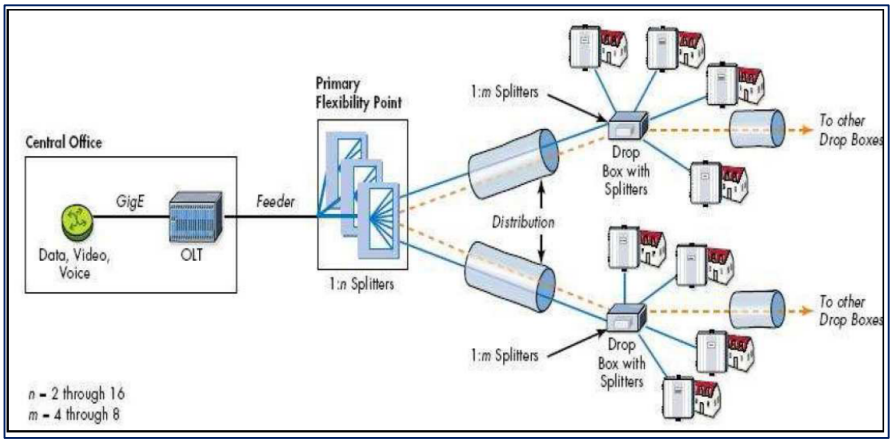


Figura 1- 3**.** Elementos pasivos de la ODN (feeder, distribución, dispersión). (Agila, 2019)

1.4. Red Feeder

La red feeder está compuesta por cables de fibra óptica, que generalmente son cables que se instalan sobre infraestructura canalizada del operador, esto debido a la capacidad de los mismos, dichos cables nacen desde un ODF y llegan hasta una manga porta splitter, FDB (Fiber Distribution Box) o un FDH. Los cables feeder típicamente son de capacidades de 96 hilos, de 144 hilos o de 288 hilos; dependiendo de la densidad poblacional en el sector donde se va a desplegar la ODN, y es recomendable instalarlos de manera canalizada, aunque también se instala de manera aérea, pero no es recomendable. (Tenecora, 2019).

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, para el tendido de la red feeder, lo realiza generalmente de manera soterrada, a través de canalización telefónica, de acuerdo a la "Normativa de Construcción de Planta Externa con fibra óptica ODN"[2]. Para la protección del cable se instalada otros elementos que ayudan a que el cable quede protegido, por ejemplo, la colocación de abrazaderas sobre las cámaras telefónicas y con la manguera corrugada ya sea de ¾ o 1 pulgada, evitando así, que el cable quede sobre el piso de la cámara telefónica desordenado y con riesgo de ser dañado, además se realiza etiquetado del cable para una mejor identificación del mismo.

La fibra óptica monomodo G652D normalizada se usa para el cable feeder debido a sus características de atenuación y radio curvatura.

Los elementos pasivos que se encuentran dentro de la red feeder pueden ser: ODF dentro de la central, rack de planta externa, mangas de empalme, splitters primarios, los mismos que se detallan a continuación:

[2] Normativa de Construcción de Planta Externa con fibra óptica ODN: (Palacios, et al., 2016)

1.4.1 ODF

Los ODF (Optical Distribution Frame), permiten la interconexión entre los hilos del cable feeder con la OLT a través de patchcords mixtos que tienen conectores SC-APC[3] por el lado del ODF y conectores FC/APC[4] al otro extremo para el caso de las redes GPON en la CNT EP. Se colocan sobre un rack en el cuarto de comunicaciones de la central y permiten organizar todos los cables. (Palacios, y otros, 2016). En la figura 1-4 se indica un ODF con conectores SC/APC, el mismo que se coloca sobre un rack.

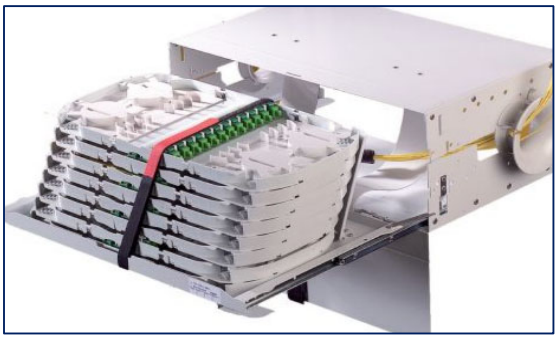


Figura 1- 4. Ejemplar de ODF 96 puertos SC/APC. (Global Electric S.A., s.f)

1.4.2 Rack de planta externa

El rack de planta externa permite alojar los ODF, son fabricados generalmente de metal, en su interior tiene un esqueleto de 19" y permiten la conexión de todos los hilos cable feeder hacia los puertos de los ODF de planta interna, los mismo que constituyen el reflejo de los puertos PON de las tarjetas de la OLT, a través de patchcords. Dicho elemento tiene para el ingreso y salida de los cables de fibra óptica dos conductores con puertas independientes y con ello los cables no se vean afectados por las curvaturas de los mismos, dando una buena presentación a la organización. (Palacios, y otros, 2016). En la figura 1-5 se aprecia un modelo de rack de planta externa con tres ODF alojados y los patchcords de conexión hacia el rack de planta interna, siendo este equipamiento muy confiable ya que brinda robustez y seguridad.

[3] SC-APC: Subscriber Connector/Angled Physical Contact. SC es la estructura del conector usando en fibras monomodo y multimodo; mientras que APC es el tipo de pulido con un ángulo de 8º disponible únicamente en color verde (Hammes, 2020).

[4] FC-APC: Ferrule Connector/Angled Physical Contact. Utilizado en fibras monomodo para enlaces de alta velocidad. (Newport, s.f)



Figura 1- 5**.** Ejemplar de rack para alojamiento de ODF. (Palacios, y otros, 2016)

1.4.3 Manga de Empalme

Son utilizadas en las construcciones de redes GPON, para unir cables de fibra óptica, siendo elementos herméticos, protegen los hilos de fibra óptica contra el polvo, humedad y mala manipulación. En la figura 1-6 se observa una manga tipo domo con todos sus accesorios, así como también las bandejas porta splitter. En el mercado se puede encontrar estos elementos para ser instaladas en postes o en cámaras telefónicas. (Velasco Rivera, 2018).



Figura 1- 6. Ejemplar de manga Domo 6 accesos. (Global Electric S.A., s.f)

1.4.4 Splitter

Un splitter o divisor óptico es un elemento pasivo dentro de una ODN, que se usa tanto en la red feeder como en la red de distribución; estos elementos realizan la división de la señal óptica teniendo 1 o 2 fibras de entrada y varias fibras de salida, por ejemplo, salidas típicas en el mercado se tiene de 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, con varias opciones de conectores y también los hay sin conectores. (Tenecora, 2019). Dependiendo de su uso existen varios modelos como se detalla en la tabla 1-1 que se muestra a continuación:

Tipo splitter	Aplicación
Modular	FDH
Conectorizado	FDB, NAP, FDF
Fusionado	Mangas porta splitter, FDF

Tabla 1- 1. Tipo de splitter y su aplicación. (Palacios, y otros, 2016)

En la figura 1-7 se tiene un ejemplo de splitter 1/8 PLC (Planar Waveguide Circuit). Los divisores ópticos se caracterizan por su baja pérdida de Inserción (IL), que depende del número de puertos de salida, así como la baja pérdida por polarización (PDL) y alta uniformidad de puerto. (Tenecora, 2019).



Figura 1- 7. Ejemplar de splitter PLC óptico 1:8. (García R. , 2019)

1.5. Red de Distribución

La red de distribución nace desde un FDH o desde una manga porta splitter, conectados directamente con el cable feeder a través de mangas. Se compone también de los diferentes elementos pasivos como son las NAP, splitters secundarios, los cables de fibra óptica en sus diferentes capacidades, ya sean estos aéreos o canalizados. La red de distribución permite la conexión entre la red feeder y la red de dispersión. (Tenecora, 2019).

Al inicio de un despliegue de red ODN, es necesario la coordinación con los diferentes municipios y empresa eléctrica, ya que dichas redes están adosadas sobre los postes eléctricos, así como también están soterradas sobre infraestructura canalizada y esto conlleva a que se deban pagar costos adicionales por el uso de dicha infraestructura para el caso de operadores privados, y para operadores públicos como el caso de la CNT EP, se debe tener un convenio de compartición de infraestructura para así evitar algún inconveniente por el uso de dicha infraestructura a futuro.

La fibra óptica normalizada utilizada para redes de distribución es la G652D debido a que son optimizadas para operaciones dentro de la banda de los 1310nm.

Los elementos pasivos que conforman la red de distribución en una ODN principalmente son los armarios de distribución, splitters secundarios, NAP, como se indican a continuación:

1.5.1 FDH

FDH (Fiber Distribution Hub), más conocido como armario, es un elemento pasivo que conforma la red de distribución y es desde donde salen todos los cables de fibra óptica hacia las NAP, permite la organización tanto de los hilos del feeder, así como también de los hilos de los cables de distribución. Existen diferentes capacidades de dichos armarios, pudiendo por ejemplo ser de 288 puertos, de 576 puertos. (Agila, 2019). En la figura 1-8 se muestra un ejemplo de un FDH del fabricante Commscope.



Figura 1- 8. Ejemplar de armario GPON-FDH. (COMMSCOPE, 2020)

1.5.2 NAP

Es un elemento pasivo que forma parte de la red de distribución, estos elementos se instalan en los postes, sobre una pared o en cámaras telefónicas, dependiendo del proyecto. Mediante este elemento se puede crecer con la red de distribución, incrementando splitters de diferentes divisiones para una red rígida, dependiendo del modelo de diseño. Desde este elemento hacia la roseta se instalan los cables drop para dotar de servicios a los abonados. En la figura 12 se muestra una NAP con sus bandejas y demás elementos para su instalación y puesta en funcionamiento. Existen NAP de 8 puertos, de 12 puertos, de 16 puertos, para la

instalación de las acometidas hacia los clientes. (Tenecora, 2019). En la figura 1-9 se indica una NAP con 12 puertos.



Figura 1- 9. Ejemplar NAP de 12 puertos. (Tenecora, 2019)

1.6. Red de Dispersión

La red de dispersión está compuesta por cables de fibra óptica que van desde la NAP hasta la roseta óptica. Los cables de fibra óptica en la red de dispersión son cables drop que en su interior tienen generalmente 2 hilos, pueden ser cables para interiores o exteriores, un hilo es el principal y el segundo es de respaldo. Para hacer el cambio desde el cable exterior que sale de la NAP hacia el cable interior se utiliza las FDF (Fiber Distribution Frame). (Tenecora, 2019).

Es importante señalar que al momento de realizar el diseño de la red ODN se debe tener establecido el número de clientes que van a ocupar cada NAP, de manera que las mismas no se llenen por las acometidas de los clientes o también que no se queden vacías, y que el proyecto sea lo más ajustado a lo que se va a comercializar. Un 20% generalmente queda para una proyección futura de clientes nuevos, optimizando de esta manera los recursos.

La CNT EP, considera una distancia de 250 metros para la acometida telefónica en la red de dispersión como máximo, aunque muchas veces la distancia es superior a la indicada especialmente en zonas rurales.

En la red de dispersión el cable drop debe cumplir el estándar G.657.A1 o G657A2 el mismo que está fabricado para evitar atenuaciones debido a las curvaturas, ya que al ser un cable más flexible es menos susceptible a pérdidas por curvaturas , están diseñados para grandes y pequeñas curvaturas sin que exista atenuación,. Las fibras G657 están optimizadas para reducir la pérdida de macro reflexión en comparación con las fibras ITU-T G652D, se pueden utilizar en toda la red de acceso, ya que algunas categorías tienen las mismas propiedades de transmisión e interconexión que las G652D.

En la red de dispersión un elemento pasivo importante es la roseta óptica y es el punto final de la ODN. La roseta óptica se instala en el domicilio del cliente, junto al equipo activo ONT (Optical Network Terminal), y a través de un patchcord SC/APC se conecta la roseta con la ONT para dar servicio de telefonía o internet al cliente. Las rosetas se montan en la pared, ya que se componen de base, bandeja y tapa, como se muestra en la figura 1-10, para la conexión del cable drop. Se debe mencionar que en la roseta se puede realizar hasta dos empalmes o fusiones.

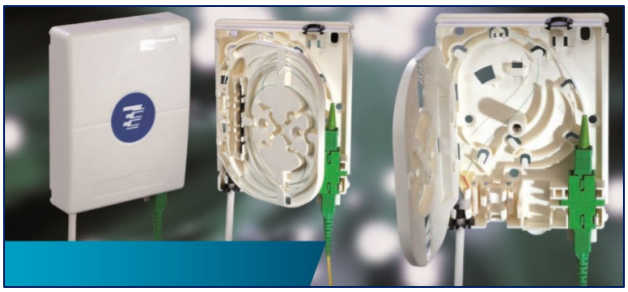


Figura 1- 10. Roseta óptica de abonado FO con 2 adaptadores SC/UPC. (Global Electric S.A., s.f)

1.7. Modelos de redes FTTH

Se considera dos modelos de redes para el diseño y despliegue de redes de acceso PON, esto es el modelo flexible y el modelo rígido, aunque a la fecha el más usado en los despliegues de redes GPON en la CNT EP es el modelo rígido, ya que este permite abaratar costos y utilizar de una mejor manera las capacidades de la fibra óptica y optimización de puertos PON de la OLT. A continuación, se describe cada uno de estos modelos.

El modelo de red GPON flexible se utiliza para redes GPON con doble nivel de splitteo hasta 1/32, siendo el armario o FDH el elemento más importante en este modelo, que hace posible que se pueda realizar la gestión de los cables en las acometidas telefónicas. En la

figura 1-11 se puede observar un modelo masivo con armario y splitteo total de 1/32. (Santamaria, y otros, 2017).

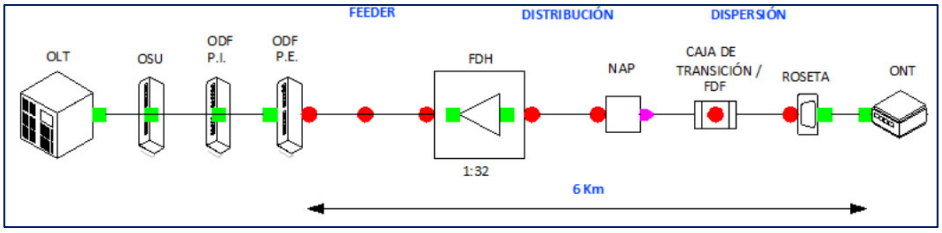


Figura 1- 11. Modelo masivo con armario FDH spliteo 1/32. (Santamaria, y otros, 2017)

El modelo de red GPON rígida es utilizado para redes GPON según se muestra en la figura 1-12 con dos niveles de spliteo, con un total de 1/64, en la cual el componente más importante es la manga porta splitter en donde se alojan los splitters primarios. Su gran uso en la actualidad es debido a que se ahorran más puertos en la OLT, pudiendo atender hasta 64 clientes con cada puerto. (Santamaria, y otros, 2017).

Se debe considerar que el cálculo de la atenuación del presupuesto óptico no exceda el límite establecido de 28 dB (según ODN clase B+), dependiendo de la distancia desde la OLT hasta la roseta.

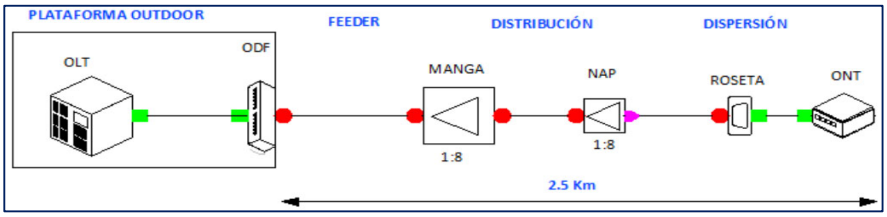


Figura 1- 12. Modelo masivo con manga spliteo 1/64. (Santamaria, y otros, 2017)

1.8. Recomendaciones ITU estándar G652

La recomendación UIT-T G.652 describe los atributos geométricos, mecánicos y de transmisión de una fibra óptica monomodo o single modo (SM) que tiene una longitud de onda de dispersión cero, alrededor de 1310 nm, también se usa en la región de 1550 nm, utilizada tanto para transmisiones analógicas como para digitales. Existen variantes o categorias de la ITU-T G.652: A, B, C y D. (Panchi, 2016)

La recomendación UIT-T G.652 fue aprobada por primera vez en 1984;. En la figura 1-13 se indican algunas características ópticas de este estándar. (Panchi, 2016).

Categoría	Características	Cobertura longitud de onda	Aplicaciones
G.652.A	Máx PMD=0.5 ps/ $\sqrt{km}$	1310nm y 1550nm regiones (bandas O y C)	Soporta aplicaciones tales como las recomendadas en G.957 y G.691 para sistemas de hasta STM-16, así como 10Gbps hasta 40 km (Ethernet) y STM-256 de la recomendación G.693.
G.652.B	Máxima atenuación especificada a 1625nm. Max. PMD=0.2 ps/ $\sqrt{km}$	1310nm, 1550nm y 1625nm regiones (bandas O y C + banda L)	Es compatible con algunas aplicaciones de mayor velocidad de bits hasta STM-64 descritas en las recomendaciones G.691 y G.692 y alguna aplicación STM-256 en G.693 y G.659.1. Dependiendo de la aplicación, la adaptación de la dispersión cromática puede ser necesaria.
G.652.C	Máxima atenuación especificada a 1383nm (igual o inferior a 1310nm). Max. PWD=0.5 ps/ $\sqrt{km}$	Desde la banda O hasta la banda C	Similar a G.652.A, pero este estándar permite la transmisión en porciones de longitud de onda ampliada desde 1360nm a 1530nm. Adecuado para sistemas CWDM.
G.652.D	Máxima atenuación especificada desde 1310nm a 1625nm. Máxima atenuación especificada a 1383nm (igual o inferior a 1310nm) Máx. PMD=0.2 ps/ $\sqrt{km}$	Cobertura de banda ancha (desde la banda O hasta la banda L)	Similar a G.652.B, pero este estándar permite la transmisión en porciones de longitudes de onda ampliada 1360nm-1530nm. Adecuada para sistemas CWDM.

Figura 1- 13. Categorías de la fibra ITU-T G.652. (Panchi, 2016)

La fibra monomodo G652D tiene mejores prestaciones en relación con las otras categorías ya que tiene baja atenuación entre 1260 y 1625 nm, presenta dispersión cromática nula en segunda ventana y baja PMD[5] (Polarization Mode Dispersion); y, al ser una fibra ZWP (Zero Water Peak), dispone de mayor ancho de banda.

En la figura 1-14 se indican las características geométricas, ópticas y mecánicas de la fibra G652D:

[5] PMD (Polarization Mode Dispersion), ocurre solo en fibras monomodo. (Panchi, 2016, pág. 10).

G.652D fiber characteristics		
Optics specifications		
Attenuation	@1260nm	≤0.47dB/km
	@1310nm	≤0.35dB/km
	@1383nm(after hydrogen aging)	≤0.35dB/km
	@1550nm	≤0.22dB/km
	@1625nm	≤0.25dB/km
Dispersion	@1285nm~1340nm	-3.5ps/(nm·km)~3.5ps/(nm·km)
	@1550nm	≤18ps/(nm·km)
	@1625nm	≤22ps/(nm·km)
Zero-Dispersion wavelength		1300nm~1324nm
Zero-Dispersion slope		≤0.092ps/(nm^2·km)
Mode field diameter (MFD) at 1310nm		9.2±0.4μm
Mode field diameter (MFD) at 1550nm		10.4±0.5μm
PMD	Max. for fiber on the reel	0.20ps/km$^{1/2}$
Cable cutoff wavelength λ_{cc} (nm)		≤1260nm
Effective group index (N_{eff}) @1310nm		1.467
Effective group index (N_{eff}) @1550nm		1.468
Back scatter characteristics (at 1310nm&1550nm)		
Point discontinuity		≤0.05dB
Attenuation uniformity		≤0.05dB/km
Attenuation coefficient difference for bi-directional		≤0.05dB/km
Geometrical characteristics		
Cladding diameter		125±1.0μm
Cladding non-circularity		≤1%
Core/cladding concentricity error		≤0.6μm
Fiber diameter with coating (uncolored)		245±10μm
Cladding/coating concentricity error		≤12.0μm
Curl		≥4m
Mechanical characteristics		
Proof stress		≥0.69GPa(100kpsi)
Coating strip force (typical value)		1.4N
Dynamic stress corrosion susceptibility parameter (typical value)		≥20
Macro-bend loss at 1625nm	Radius Φ30mm,100 turns	≤0.1dB
Environmental characteristics (at 1310nm & 1550nm)		
Temperature induced attenuation(-60~+85℃)		≤0.05dB/km
Dry heat induced attenuation (85℃±2℃, 30 days)		≤0.05dB/km
Water immersion induced attenuation (23℃±2℃, 30 days)		≤0.05dB/km
Damp heat induced attenuation (85℃±2℃, RH85%, 30		≤0.05dB/km

Figura 1- 14. Características ópticas, geométricas y mecánicas de la fibra óptica. (Agila, 2019)

A continuación se detalla un resumen según la figura anterior:

- La longitud de onda 1310 nm para canal de subida, desde ONT hacia OLT, atenuación de 0.35dB/Km.
- La longitud de onda 1490nm para canal de bajada.
- Longitud de onda 1550nm, , para canal de descarga, desde la OLT hacia la ONT. A esta longitud de onda la fibra G652D tienen una atenuación de 0.22dB/km
- Longitud de onda de 1625nm, , se emplea para ejecutar pruebas de estado de la red, sin necesidad de interrumpir la comunicación entre ONT y OLT. A esta longitud de onda la fibra G652D tienen una atenuación 0.25dB/km

Otra de las especificaciones ópticas de la fibra G652D es la dispersión cromática, y como se muestra en la figura 1-14 , para la longitud de onda 1550nm es de 18ps/(nm.km), esta dispersión es corregida por la ONT, mientras que en el rango de 1300nm – 1324nm se da una dispersión cromática nula. (Panchi, 2016).

1.9. Equipos activos

Los equipos activos de una red ODN, son dispositivos electrónicos que se conectan en los extremos de la ODN, por un lado, en el cliente la ONT y al otro lado del proveedor la OLT; esto permite la transmisión de información de banda ancha, para distribuir toda la información a través de la red. A continuación, se mencionan los equipos activos que se utilizan en una ODN.

La OLT es el equipo activo principal dentro de la ODN, gestiona el tráfico desde uplink MPLS con los equipos terminales, es decir la OLT se conecta a un equipo de acceso de la red MPLS, que es donde se concentra todo el tráfico. Está ubicado en la central principal, es decir en la oficina del proveedor de servicio y controla la información en ambos sentidos de la red GPON, así también a través de este equipo se gestiona el ancho de banda, administra y asigna el ancho de banda y sincroniza el tráfico hacia y desde los equipos terminales. La OLT tiene características que soportan distancias de transmisión de hasta 20 km.

La OLT GPON está compuesta por tarjetas, las mismas que contienen puertos PON, cadapuerto tiene la capacidad de transmitir hasta 2.5Gbps y conectar 32 clientes, 64 clientes o hasta 128 clientes, dependiendo del esquema de la red; así también está compuesta de un chasis, tarjetas de ventiladores, tarjetas de poder, tarjetas de gestión y control, tarjetas de uplink, tarjetas de servicios, tarjetas para conexión a la red MPLS. (Salvatierra, 2017).

Hay que tener en cuenta que a la salida de la OLT en los puertos PON es necesario cierto nivel de potencia para asegurar que llegue la potencia suficiente hacia los equipos terminales de usuario, para ello se debe medir el nivel de potencia en una OLT que generalmente oscila entre 1.5dBm y 5dBm . En la figura 1-15 se indica una OLT dentro de un rack, así como una OLT por si sola.

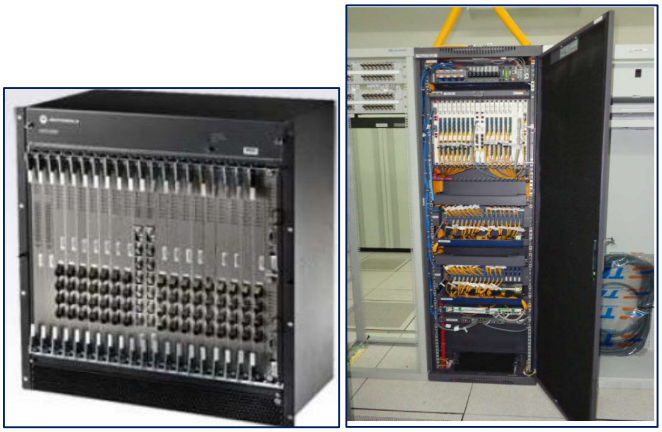


Figura 1- 15. Ejemplares de Equipo Terminal de Línea Óptico - OLT. (Salvatierra, 2017), (Palacios, y otros, 2016)

La Optical Network Terminal ONT, es un equipo activo que se instala al final de la ODN, es decir en el lado de la cliente, conectada con la roseta óptica a través de un patchcord. Este equipo convierte las señales ópticas que recibe de la OLT pasando por la red ODN a señales eléctricas para ofrecer varios servicios de telefonía y especialmente de internet con grandes anchos de banda. (Salvatierra, 2017).

Existen en el mercado variedad de marcas para ONT y de acuerdo a las configuraciones se puede cubrir las necesidades de cada cliente, equipos para clientes residenciales, equipos para empresas corporativas, para edificios, etc.

En la figura 1-16 se puede apreciar un modelo de ONT Huawei con dos antenas, con tecnología MIMO (Multiple Input Multiple Output), agregación de canales, más eficiencia en la capa MAC. Por ejemplo, una ONT marca Huawei serie HG8245 tiene 4 puertos RJ45 para conexión a internet, 2 puertos RJ11 para conexión a telefonía, y puerto USB para suministro de energia, conexión de otros dispositovis electrónicos, un puerto óptico para la conexión con la roseta óptica y fuente de alimentación de 110/220V. Existen ONT que se instalan sobre un rack.

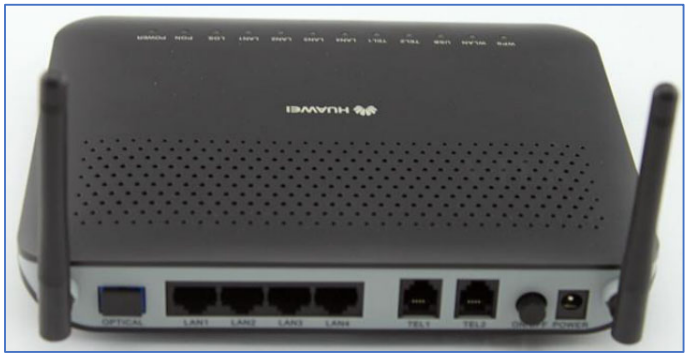


Figura 1- 16. Ejemplar de ONT Huawei HG8245. (Tenecora, 2019)

1.10. Presupuesto óptico

Los divisores ópticos en una ODN, dividen la señal óptica, y son los que mayor atenuación ocasionan; los ODF, conectores, fusiones, cables de fibra óptica, suman también atenuación en una red GPON. La longitud total de la ODN, se considera la suma del cable feeder, cable de la red de distribución y la acometida hacia el cliente.

Los valores umbrales usados se basan en la norma ITU-T G.984[6] que define las redes GPON, dichas recomendaciones se indican en la tabla 1-2.

RECOMENDACION	DESCRIPCIÓN
G.984.1	Características generales de las redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabit.
G.984.2	Especificación de la capa dependiente de los medios físicos.
G.984.3	Especificación de la capa de convergencia de transmisión.
G.984.4	Administración de ONT y especificación de control de interface.
G.984.5	Banda de ampliación
G.984.6	Extensión del alcance
G.984.7	Largo alcance

Tabla 1- 2. Recomendaciones G.984. (Pardo, 2020)

En la tabla 1-3 se indica los niveles mínimos y máximos de potencia, sensibilidad mínima de potencia, sobrecarga mínima, tanto para la OLT como para la ONT; según la recomendación de la ITU-T G.984.2 de niveles de potencia óptica; teniendo en cuenta que los valores mostrados en la tabla determinan los puntos de corte para el establecimiento de conexión, caída de conexión, saturación en la conexión.

ITEM	UNIDAD	PARÁMETROS
OLT:		**OLT**
Mean launched power MIN	dBm	+1.5
Mean launched power MAX	dBm	+5
Minimum sensitivity	dBm	-28
Minimum overload	dBm	-8
Downstream optical penalty	dB	0.5
ONU:		**ONU**
Mean launched power MIN	dBm	+0.5
Mean launched power MAX	dBm	+5
Minimum sensitivity	dBm	-27
Minimum overload	dBm	-8
Upstream optical penalty	dB	0.5

Tabla 1- 3. Niveles de potencia de bajada a 2.4Gbit/s y subida 1.2Gbit/s. (ITU I.-T. T., 2019)

[6] ITU-T G.984: Conjunto de recomendaciones que describen las técnicas para compartir un medio común por varios usuarios, encapsular la información, gestionar los elementos de la red, entre otros aspectos. (Panchi, 2016, pág. 22).

En la tabla 1-4 se indica las atenuaciones mínimas y máximas según la recomendación ITU-T G.984.2 para redes GPON.

ITEM	UNIDAD	PARÁMETRO
Minimum optical loss at 1490nm	dB	13
Minimum optical loss at 1310nm	dB	13
Maximum optical loss at 1490nm	dB	28
Maximum optical loss at 1310nm	dB	28

Tabla 1- 4. Pérdida de presupuesto óptico para sistemas GPON. (ITU I.-T. T., 2019)

En la tabla 1-5 se indica la atenuación o pérdida promedio de acuerdo a cada tipo o modularidad del splitter

SPLITTER	PÉRDIDAS POR INSERCIÓN (dB)
1:2	3.25
1:4	6.5
1:8	9.75
1:16	13
1:32	16.25
1:64	19.50

Tabla 1- 5. Atenuación por tipo de splitter. (Santamaria, y otros, 2017)

Las pérdidas por inserción correspondientes a los elementos pasivos a lo largo de la ODN, se indican en la tabla 1-6:

ELEMENTO	ATENUACIÓN POR INSERCIÓN (dB)
fusiones	0.1
conectores	0.5
ODF	0.5

Tabla 1- 6. Atenuación por inserción. (Santamaria, y otros, 2017)

Se establece un margen de seguridad de 3 dB, a efectos de posibles cambios, reparaciones, envejecimiento de los componentes en la red GPON, que puedan aumentar la atenuación de la misma. (Palacios, y otros, 2016).

La distancia entre la OLT y ONT no debe superar los 20 Km, y la atenuación máxima de la red GPON no debe superar los 28 dB para la clase B+. Esta prohibición se debe a los umbrales de los equipos activos OLT y ONT, por ello se considera el peor caso en cuanto a niveles de atenuación, según el estándar G.984.2.

En la figura 1-17 se muestra un ejemplo de cálculo de presupuesto óptico y de acuerdo al diseño de la red se designa los elementos y la cantidad de los mismos que intervienen en toda la ODN, todo esto según el estándar G.984. Cantidad de conectores en unidades, cantidad de fusiones en unidades, distancia total de la ODN en kilometros:

Elementos de la Red de Fibra Optica		Cantidad	Perdida de elemento Tipica (dB)	Total Perdida (dB)
Connectors (mated) ITU671=0.5dB (unidades)		5	0.50	2.50
Fusion splices ITU751=0.1db average (unidades)		5	0.10	0.50
Mechanical Splices ITU 751=0.1dB average (unidades)		1	0.20	0.20
Conector Armado en campo			0.60	0.00
Splitters(unidades)	1x2		3.25	0.00
	1x4		6.50	0.00
	1x8	2	9.75	19.50
	1x16		13.00	0.00
	1x32		16.25	0.00
	1x64		19.50	0.00
	2X4		7.90	0.00
	2X8		11.50	0.00
	2X16		14.80	0.00
	2X32		18.50	0.00
	2X64		21.30	0.00
Fibras - Longitudes de Onda(kilómetros)	1310nm	7	0.35	2.45
	1490nm		0.30	0.00
	1550nm		0.25	0.00
GRAND TOTAL (dB)				**25.15**

Figura 1- 17. Plantilla para presupuesto óptico CNT EP. (Pardo, 2020)

1.11. Prueba Reflectométrica y Prueba de Potencia Óptica

Las pruebas reflectometrías se realizan con la ayuda de un OTDR, se las realiza generalmente una vez que la red ODN está construida, con dichas pruebas se puede verificar la distancia desde la OLT hasta la roseta del cliente; además se puede establecer todos los eventos de la red ODN, como por ejemplo la atenuación de la red GPON, pérdida de retorno, se puede verificar la atenuación en cada uno de los elementos pasivos y además verificar posibles daños en todos los elementos pasivos de la red. Para el cálculo de la distancia se debe configurar el OTDR, principalmente el índice de refracción y coeficiente de dispersión de la fibra instalada.

Las pruebas de potencia de una red GPON, se realiza de igual manera con un equipo OTDR, o también con un equipo de medición como el medidor de potencia óptico (power

meter), y con ello se puede establecer la potencia de recepción en una NAP o en una roseta óptica o también se puede medir la potencia a la salida de los puertos en la OLT. (Palacios, y otros, 2016).

En la figura 1-18 se puede observar una prueba reflectométrica usando el OTDR EXFO con el uso de la herramienta iOLM, para establecer las atenuaciones en el trayecto de la red, así como también verificar la distancia del enlace.

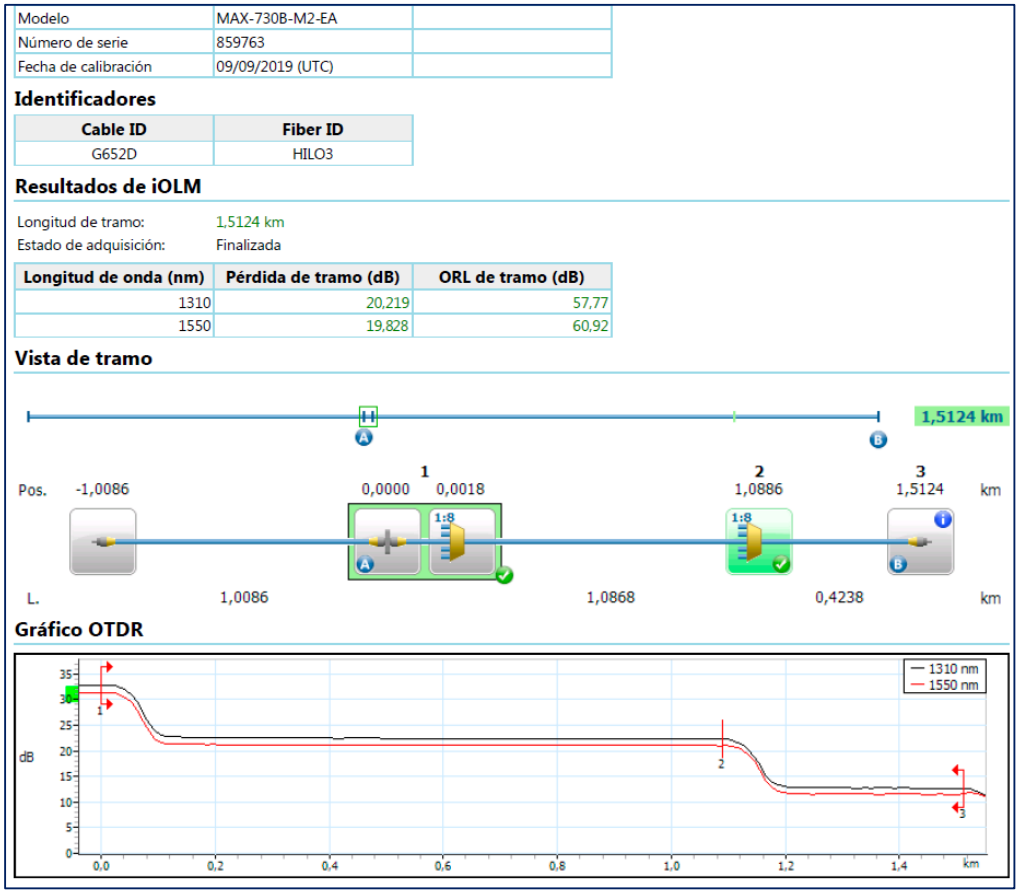


Figura 1- 18. Prueba reflectométrica de un hilo de fibra óptica con OTDR EXFO y uso de la herramienta iOLM del OTDR. (Pardo, 2020)

1.12. Equipos de medición para redes ODN:

En redes GPON es necesario la verificación y certificación de las mismas, sobre todo comprobar que el presupuesto óptico del enlace no supere los 28dB en ODN clase B+, así como también al momento de recibir una red GPON se pueda establecer la distancia de los cables utilizados tanto en la red feeder, como en la red de distribución o de dispersión. A continuación, se indica los equipos más usados en pruebas de redes ODN para localización de fallas, así como verificación de parámetros de la red.

1.12.1 OTDR

El OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) es uno de los instrumentos más utilizados para el análisis de las redes GPON, emite pulsos de luz, especialmente para la localización de atenuaciones (verificación de eventos en la red), roturas de los cables de fibra óptica, cálculo de distancia, posibilitando determinar el punto exacto de algún fallo en la red y, de esta manera poder ejecutar tareas de mantenimiento o el mejoramiento de los parámetros ópticos de la misma. En la figura 1-19 se puede observar un modelo de OTDR de Promax. (PROMAX, 2019).

Entre las diferentes mediciones que se pueden realizar con el OTDR se tiene: la longitud de la fibra óptica, medida de distancia entre dos eventos de la fibra, cortes de cable de fibra óptica, también permite la representación gráfica dentro de eventos de una fibra óptica, fenómenos de reflexión entre fibra ópticas, medidas de pérdidas de empalmes, entre otras.



Figura 1- 19. Ejemplar modelos OTDR PROMAX. (PROMAX, 2019)

1.12.2 Power meter

Este equipo es un medidor de potencia para redes de fibra óptica, permite obtener la potencia que sale de la OLT, así como la potencia en una NAP, en la roseta, y permite realizar mediciones en distintas longitudes de onda de 1310nm/1490nm/1550nm, dichas mediciones se dan en decibel mili watt (dBm). (TRIPLEE, 2020). En la figura 1-20 se puede apreciar un modelo de power meter, con dos conectores SC/APC, el uno es para medir la potencia y el otro funciona como localizador visual de falla (VFL).



Figura 1- 20. Ejemplar Power Meter. (TRIPLEE, 2020)

1.12.3 Sonda inspectora de fibra (FIP)

En la figura 1-21 se muestra un modelo de FIP(Fiber Inspection Probe), equipo utilizado para inspección y limpieza de las terminaciones de fibra óptica, para verificar conexiones contaminadas. Contiene un microscopio con video portátil, utilizado para la revisión en los extremos de la fibra óptica, a través de iluminación y con ello realizar limpieza de los conectores. (EXFO, 2019).



Figura 1- 21. Ejemplar Sonda Inspectora de fibra de EXFO. (EXFO, 2019)

1.12.4 Localizador visual de falla (VFL)

El localizador visual de fallas es un equipo para probar la continuidad del cable de fibra óptica y con ello detectar problemas de rotura, detecta curvaturas de la fibra óptica (atenuaciones), detecta la ubicación del daño. El VFL utiliza una fuente láser para inyectar luz y posibilitar la localización de fallas. (TELPRO, 2019). En la figura 1-22 se muestra un localizador visual de fallas de TELPRO.



Figura 1- 22. Ejemplar modelos VFL. (TELPRO, 2019)

1.13. Presupuesto económico

Al inicio de un proyecto, al ser temporales y únicos, y por ende tener un alto riesgo, y al estar involucrados en el mismo varios interesados ya sean internos o externos con distintos tipos de intereses, es necesario contar con un presupuesto económico para el desarrollo del proyecto y con ello hacer frente y cumplir con los objetivos del mismo progresivamente y avanzando en cada fase del proyecto, de tal manera que el coste del proyecto se apegue a lo presupuestado y la calidad del mismo sea lo que se planteó en la planificación. A continuación, se presenta algunos parámetros que ayudarán a la toma de decisiones y a determinar cuándo un proyecto de inversión debe llevarse a cabo o no.

1.13.1 VAN

El Valor Actual Neto (VAN), o Valor Presente Neto (VPN), mide el resultado de descontar la inversión de un proyecto al valor actual o presente del flujo de caja neto que tendrá. Si el resultado es positivo existe ganancia, por ende, el proyecto es rentable. Nos permite saber si un proyecto de inversión es rentable y por lo tanto factible.

En caso de tener varios proyectos de inversión, con el VAN se puede determinar cuál es el más rentable y por ende el más importante o atractivo. Por ejemplo, si alguien está interesado en comprar nuestro negocio, es importante poder determinar si el precio ofrecido está por encima o por debajo de lo que ganaríamos en caso de no venderlo. (Komiya, 2019). La fórmula del VAN es:

$$VAN = BNA - Inversión$$

Ecuación 1- 1. Valor Actual Neto. (Komiya, 2019)

- VAN mayor a 0 el proyecto es recomendable.
- VAN igual 0 el proyecto también es recomendable,

- VAN menor a 0 el proyecto no es factible.

1.13.2 TIR

La Tasa Interna de Retorno es la tasa de ganancia que un proyecto genera. Conocida también como tasa de descuento máxima para que un proyecto sea rentable (TD). (Komiya, 2019).

1.13.3 PRI

El Período de Recuperación de la Inversión (PRI), es un indicador que permite medir en qué tiempo se va a recuperar la inversión total de un proyecto a un valor presente. Con ello se puede verificar, en años, meses y días, la fecha en la cual la inversión inicial va a ser cubierta.

En la ecuación 1-2 se indica la fórmula para el cálculo del PRI:

$$PRI = a + (b - c) /d$$

Ecuación 1- 2. Periodo de Recuperación de la Inversión. (Universidad ESAN , 2017)

Como se muestra en la ecuación anterior,

a = es el año inmediato anterior en que se recupera la inversión.

b = es la inversión que se realiza al inicio.

c = es el flujo de efectivo acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión.

d = es el flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión. (Universidad ESAN , 2017).

Capítulo 2: LEVANTAMIENTO DE DEMANDA Y ÁREA DE COBERTURA

En el presente capítulo se realizará el levantamiento de demanda de posibles clientes residenciales en la localidad de Loreto, tomando en cuenta los clientes que actualmente la empresa mantiene con la tecnologia de cobre; los clientes que no pueden ser atendidos debido a que la tecnologia no lo permite; y asi como tambien establecer una demanda futura de posibles clientes. Para ello con los datos obtenidos de la empresa, se determinará la cantidad de clientes residenciales existentes, posteriormente con datos del INEC de la poblacion de Loreto se obtendrá una muestra de la población para realizar encuestas y con ello determinar la cantidad de posibles clientes insatisfechos, clientes que mantienen el servicio con otras empresas de telecomunicaciones, el tipo de servicio que mantienen. Se determinará la demanda futura a 5 años y finalmente se consolidará la cantidad de posibles clientes para en base a ello poder realizar el diseño de la ODN en la localidad de Loreto.

2.1. Área de Cobertura (zonificación)

El Cantón Loreto está ubicado en la Provincia de Orellana, Nororiente del Ecuador con una población de 21163 habitantes. Conformado por 5 parroquias rurales y una urbana, cuyo centro poblado se constituye en la cabecera parroquial y a la vez en la cabecera cantonal.

Sus parroquias urbanas y rurales se denominan

- Puerto Murialdo,
- Ávila Huiruno,
- San José de Payamino,
- San José de Dahuano,
- San Vicente de Huaticocha; (Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Loreto, 2015)

EL Cantón Loreto se encuentra ubicado en las coordenadas. UTM 18 S 875243E, con un rango altitudinal de 320 metros sobre el nivel del mar (msnm) hasta 3732 (msnm).

Las parroquias, distribuidas en una superficie de aproximadamente 2217 km^2. En el censo del 2010, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), registró una población de 21163 habitantes: 10124 mujeres y 11039 hombres. Con una proyección de población de

25910 habitantes al año 2030. (Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Loreto, 2015).

El presente caso de estudio se enfoca en la ciudad de Loreto, que es la ciudad más poblada de todo el cantón y en la que actualmente la CNT EP cuenta con clientes residenciales atendidos a través de la tecnología de cobre.

La ciudad de Loreto según el último censo cuenta con 628 hombres y 617 mujeres, con un total de 1245 habitantes en la parte urbana. En la tabla 2-1 se muestra algunos indicadores de la localidad según el último censo realizado en el país.

INEC (CENSO 2010)	
Población total cantón Loreto	21163
Población urbana Loreto - hombres población urbana Loreto - mujeres población urbana Loreto	1245 628 617
Número de viviendas zona urbana	497
Población rural Loreto - hombres población rural Loreto - mujeres población rural Loreto	12.217 6.365 5.852
% población área urbana ciudad Loreto (hombres)	50.44
% población área urbana ciudad Loreto (mujeres)	49.56
Número de hogares cantón Loreto	1061
Promedio de personas por hogar	3.89
Edad media de la población (años)	23.5
% personas que utilizaron celular	24.2
% personas que utilizaron computadora	19.2
% personas que utilizaron internet	14
% analfabetismo digital	64.6

Tabla 2- 1. Estadísticas INEC. (INEC, 2017)

Para el presente caso de estudio de demanda se ha considerado todo el casco urbano de la ciudad de Loreto, ya que es actualmente donde CNT EP tiene los clientes de cobre; desde la Av. perimetral hasta la Av. 30 de octubre y desde la Av. 16 de Julio hasta la Av. Nilta Rodríguez. Área en la que se encuentran alrededor de 1245 habitantes aproximadamente. De acuerdo al último censo en Loreto, actualmente en el área urbana existen 497 viviendas. En la figura 2-1 se indica el área de cobertura de la red GPON a diseñarse.

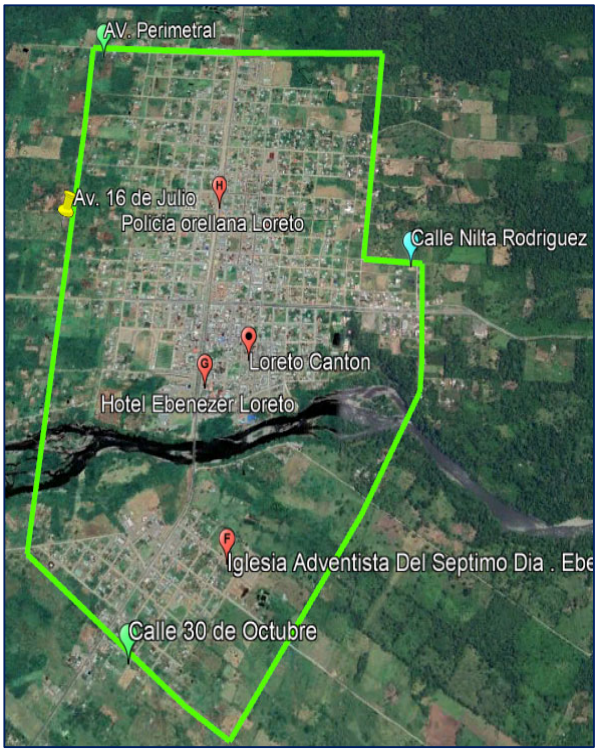


Figura 2- 1. Área de cobertura red GPON Loreto. (Pardo, 2020)

El área de cobertura engloba todos los clientes que actualmente la CNT EP cuentan con servicio de telefonía e internet, así como nuevos usuarios que actualmente no están atendidos; dentro de los clientes se tienen hospitales, instituciones educativas, bancos, escuelas, oficinas particulares, etc. En la tabla 2-2 se indica las tarifas que la CNT EP tiene a la fecha a nivel nacional para sus clientes en planes de internet residencial, y en la tabla 2-3 se indica las tarifas que CNT EP tiene a la fecha para servicios corporativos, como se muestra a continuación:

PLANES DE INTERNET CNT EP			TARIFA MENSUAL	INSTALACIÓN	COMPARTICIÓN	TECNOLOGÍA
	VELOCIDAD					
DESCRIPCIÓN	DOWN	UP	USD	USD	VELOCIDAD ASIMÉTRICA	COBRE/FIBRA
INTERNET FIJO 5Mbps	5Mbps	1Mbps	$20.90	$60	**2:1**	**COBRE/FIBRA**
INTERNET FIJO 10Mbps	10Mbps	1Mbps	$24.90	$60	**2:1**	**FIBRA**
INTERNET FIJO 20Mbps	20Mbps	1Mbps	$29.90	$60	**2:1**	**FIBRA**
INTERNET FIJO 100Mbps	100x50Mbps		$110.00	$60	**2:1**	**FIBRA**
INTERNET FIJO GALÁPAGOS	1Mbps	1Mbps	$18.00	$60	**2:1**	**COBRE**

Tabla 2- 2. Tarifa de internet a nivel nacional CNT EP, servicios residenciales. (CNT EP, 2020)

PLANES DE INTERNET EMPRESAS CNT EP			TARIFA MENSUAL	TARIFA INCRIPCIÓN	TECNOLOGÍA
	VELOCIDAD				
DESCRIPCIÓN	DOWN	UP	USD	USD	FIBRA ÓPTICA PUNTO - PUNTO
INTERNET FIJO 10x5 Mbps	10Mbps	5Mbps	$70.00	$50	**FIBRA**
INTERNET FIJO 20x10 Mbps	20Mbps	10Mbps	$90.00	$50	**FIBRA**
INTERNET FIJO 35x15 Mbps	35Mbps	15Mbps	$155.00	$50	**FIBRA**
INTERNET FIJO 45x20 Mbps	45Mbps	20Mbps	$175.00	$50	**FIBRA**
INTERNET FIJO 55x25 Mbps	55Mbps	25Mbps	$198.25	$50	**FIBRA**

Tabla 2- 3. Tarifa de internet a nivel nacional CNT EP, servicios corporativos. (CNT EP, 2020)

En la tabla 2-4 se muestra el costo de la tarifa de línea telefónica que CNT EP mantiene a la fecha tanto para la instalación, así como la tarifa básica mensual.

TELEFONÍA FIJA	TECNOLOGÍA	PENSIÓN BÁSICA	INSTALACIÓN
PLAN DE TELEFONÍA HOGAR TOTAL+LLAMADAS ILIMITADAS ONNET	COBRE	$7.90	$60

Tabla 2- 4. Tarifa de telefonía residencial a nivel nacional CNT EP. (CNT EP, 2020)

Con el diseño y posterior despliegue de una red GPON será posible mejorar sustancialmente los servicios de internet que actualmente la CNT EP brinda a los clientes en la localidad de Loreto, así como dotar de nuevos servicios de telefonía e internet en dicha ciudad. Con la tecnología GPON se puede ofrecer servicios de ancho de banda desde 10Mbps hasta 100Mbps, para usuarios residenciales, lo que actualmente con la red de accesos de cobre no es posible, y como se observa en la tabla 2-2, la CNT EP puede brindar únicamente servicios de hasta 5Mbps con la tecnología de cobre, en la localidad de Loreto, para acceso masivo.

2.2. Levantamiento de demanda existente y proyectada

Para el diseño de la red GPON es necesario estimar los clientes nuevos que la empresa pueda captar, así como también los clientes de telefonía e internet que la empresa cuenta actualmente, permitiendo que no exista deserción hacia otras operadoras de los clientes que a la fecha dispone la empresa.

Se debe determinar el número de clientes que contratarán con la CNT EP, tanto los que ya se tiene con la tecnología de cobre y que estarían dispuestos a migrar a la nueva

tecnología, así como clientes nuevos y futuros, en la zona urbana de Loreto y de esta manera dimensionar la red. Para ello se toma una muestra de la población de la ciudad de Loreto.

Par determinar la demanda actual en la localidad de Loreto se realiza una encuesta, en la cual se recopila información de los servicios de telecomunicaciones que los habitantes cuentan actualmente, así mismo se realiza la encuesta para determinar el grado de satisfacción de los clientes que cuentan con el servicio a través de la tecnología de cobre y si tienen requerimientos adicionales de servicios de telecomunicaciones.

Para determinar el tamaño de la muestra se debe considerar que un tamaño de muestra demasiado grande representa un desperdicio de recursos, tanto materiales como humanos y la calidad de estudio se ve afectado de manera negativa. Así también un tamaño muy pequeño puede determinarse como un desperdicio de esfuerzo, ya que no se puede detectar un efecto importante o significativo.

Mientras la población es más finita, el tamaño de la muestra será menor, a diferencia de poblaciones mucho más grandes.

En el presente caso de estudio se determina la muestra de la población para la realización de las encuestas, siendo una muestra probabilística, se procede a determinar el tamaño de la, según se indica en la ecuación 2-1:

$$n = \frac{Nz_{\alpha/2}^2 * p(1-p)}{e^2(N-1) + z_{\alpha/2}^2 p(1-p)}$$

Ecuación 2- 1. Tamaño de la muestra. (Morales, 2013)

Dónde:

N = tamaño de la población, para el presente estudio es de 1245

n = tamaño de la muestra a determinarse

$z_{\alpha/2}^2$, es un valor de distribución normal, con valor de $Z_{\frac{\alpha}{2}}$=$Z_{0.05}$=1.96

p= Proporción de individuos de la población que poseen la característica que se está estudiando y al ser desconocido se suele usar p=0.5, valor que maximiza el producto p(1-p).

α= nivel de significación, donde el nivel de confianza se denota como 1- α, en el cual el valor de α es de 0.05. Un valor usado frecuentemente de nivel de confianza es del 95%.

e= error, con un valor de 5%, e=0.05. (Simancas, 2019). Utilizando la ecuación 2.1, se obtiene el siguiente valor para n:

$$n=\frac{1245*1.96^2*0.5*0.5}{0.05^2(1245-1)+1.96^2*0.5*0.5}$$

n= 293.7

Con esto se obtiene una muestra para 294 habitantes, debiendo realizarse por tanto 294 encuestas, que redondeado determina un valor final de 300 encuestas a realizarse. Para la elaboración de las encuestas en el presente estudio se realizan preguntas en las que se pueda determinar la satisfacción de los clientes, así como el número de habitantes que aún no cuentan con el servicio principalmente de internet.

2.2.1 Demanda Actual e Insatisfecha

La demanda actual está conformada por los clientes que cuentan con servicio de telecomunicaciones de telefonía e internet con alguna operadora de telecomunicaciones.

Actualmente en la ciudad de Loreto, existen varias operadoras que brindan servicios de internet principalmente, así como también existen habitantes que no están siendo atendidos. Se pretende captar nuevos clientes, considerando que a la fecha la CNT EP están atendiendo aproximadamente a 517 clientes de telefonía fija con la tecnología de cobre y 400 clientes de internet, como se muestra en la tabla 2-5.

AREA	SUSCRIPTORES CNT EP LORETO	
AREA 1	95	TELEFONÍA FIJA
	66	INTERNET
AREA 2	134	TELEFONIA FIJA
	108	INTERNET
AREA 3	114	TELEFONIA FIJA
	88	INTERNET
AREA 4	174	TELEFONIA FIJA
	138	INTERNET
TOTAL	**TOTAL, TELEFONIA**	**517**
	TOTAL, INTERNET	**400**

Tabla 2- 5. Clientes de telefonía fija e internet CNT EP, Loreto. (CNT EP, 2020)

Una vez realizadas las encuestas en la zona urbana de Loreto, según la muestra obtenida, para el área de interés, se establece el número de clientes actuales que cuentan con servicio de telefonía. En la tabla 2-6 se presentan los resultados arrojados de las encuestas para el número de clientes con servicio de telefonía fija y en la tabla 2-7 se indican los clientes con internet, dichos valores son reflejados en las figuras 2-2 y 2-3, según se muestra a continuación:

TELEFONÍA FIJA	USUARIOS	PORCENTAJE (%)
Usuarios con servicio	220	73
Usuarios sin servicio	80	27
Total	**300**	**100**

Tabla 2- 6. Usuarios que cuentan con servicio de telefonía fija. (Pardo, 2020)

INTERNET	USUARIOS	PORCENTAJE (%)
Usuarios con servicio	200	67
Usuarios sin servicio	100	33
Total	**300**	**100**

Tabla 2- 7. Usuarios que cuentan con servicio de internet. (Pardo, 2020)

¿Tiene servicio de telefonía fija actualmente?

SI:220

NO:80

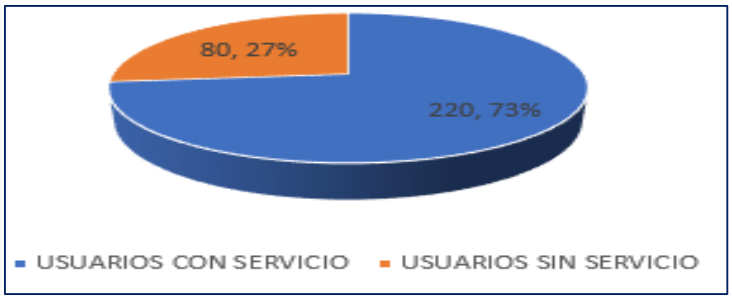


Figura 2- 2. Porcentaje de habitantes que cuenta con servicio de telefonía fija. (Pardo, 2020)

¿Tiene servicio de internet actualmente?

SI: 200

NO: 100

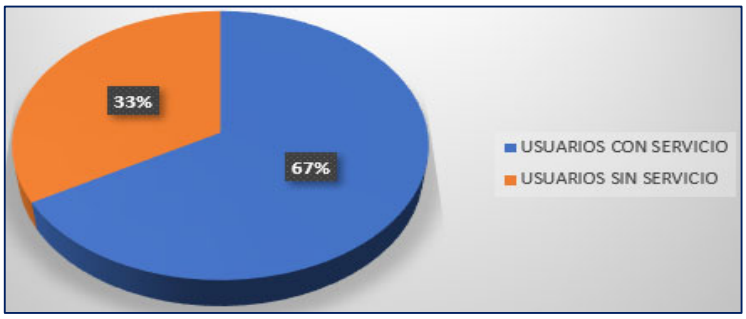


Figura 2- 3. Porcentaje de habitantes que cuenta con servicio de internet. (Pardo, 2020)

Actualmente la mayoría de la gente que cuenta con servicio de telefonía e internet, en la parte urbana de la ciudad de Loreto, aproximadamente el 73% tiene telefonía y el 67% tiene internet. En la figura 2-4 se indica todas las empresas privadas y públicas que brindan servicios de telecomunicaciones en la localidad y la cantidad de clientes que cada una de ellas tiene, según las encuestas realizadas.

¿Con que proveedor contrata el servicio?

- CNT EP: 180
- Loretovisión:20
- Orión:10
- Otros:10
- No tienen:80

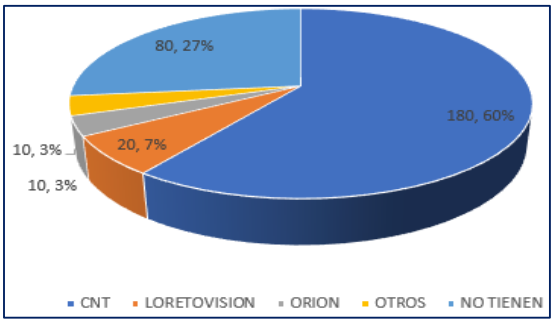


Figura 2- 4. Porcentaje de empresas que proveen el servicio de internet en Loreto. (Pardo, 2020)

Adicionalmente es importante conocer el porcentaje de clientes que no están conformes con el servicio que el proveedor les brinda, en este caso de telefonía y sobre todo de internet.

La demanda insatisfecha es la suma de la demanda atendida insatisfecha más la demanda no atendida, según se indica en la siguiente ecuación:

demanda_ insatisfecha= demanda atendida + demanda_no_atendida

Ecuación 2- 2. Ecuación para cálculo de demanda insatisfecha. (Panchi, 2016)

¿Está conforme con los servicios de internet que actualmente tiene contratado con su proveedor?

Satisfechos:10

Insatisfechos: 210

No tienen servicio: 80

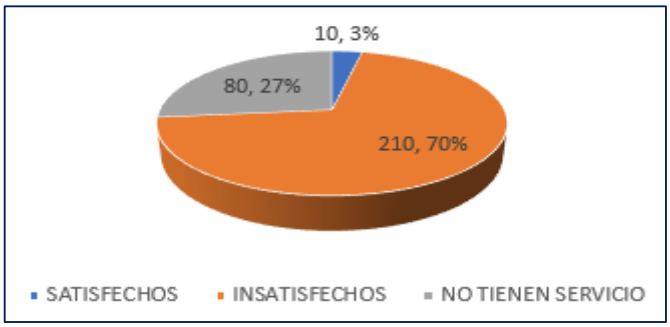


Figura 2- 5. Porcentaje de conformidad de los servicios de internet Loreto. (Pardo, 2020)

Con esta pregunta se concluye que la mayoría de usuarios que disponen del servicio tanto con CNT EP, como con otras operadoras; no están conformes con el servicio, por ende, es necesario mejorar la calidad del servicio y satisfacer de mejor manera la expectativa del cliente, según se refleja en la figura 2-5.

En la tabla 2-8 se muestra la demanda de clientes que cuentan con servicios de telefonía e internet que no están satisfechos.

SERVICIO	DEMANDA DE CLIENTES INSATISFECHOS	
	usuarios	Porcentaje (%)
TELEFONIA E INTERNET	290	97

Tabla 2- 8. Demanda de clientes insatisfechos. (Pardo, 2020)

¿Contrataría el servicio con fibra óptica?

Si: 290
No:10

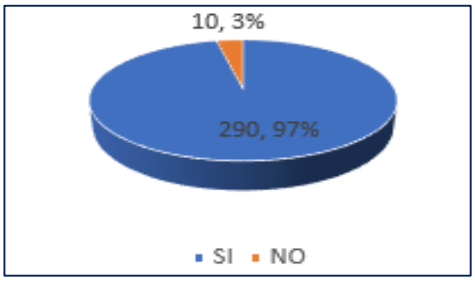


Figura 2- 6. Porcentaje de usuarios que desean contratar el servicio con fibra óptica. (Pardo, 2020)

La mayoría de personas encuestadas (97%), desean contratar servicio con fibra óptica y acceder a mejores prestaciones en lo servicios especialmente de internet, según se refleja en la figura 2-6.

Según la figura 2-6 se concluye que hay buena respuesta de la población para contratar los servicios con la tecnología de fibra óptica, para satisfacer las necesidades de los clientes que no están conformes con el servicio de cobre, así como también clientes que no cuentan con servicio o tienen el servicio con algún otro proveedor.

De lo cual se concluye que:

- La mayor parte de habitantes en Loreto desean el servicio de internet que satisfaga sus necesidades.

- De las encuestas, se deduce que las personas que no cuentan con servicio, desean contratar con la empresa CNT EP, es decir tienen mayor confianza con la empresa pública.
- La mayoría de la población lo que necesita es el internet en sus domicilios, con un buen ancho de banda, antes que la telefonía fija, esto debido al incremento de la telefonía móvil, ya que actualmente los habitantes solicitan más el internet a través de una red de accesos masivo y con costos accesibles.

2.2.2 Demanda Proyectada

Una vez que se ha determinado la demanda existente insatisfecha y la demanda no atendida, se procede al análisis de la demanda proyectada, para 5 años. Para ello se proyecta la población según datos del INEC, en base a datos históricos y así poder conocer el incremento de la población. En la tabla 2-9 se muestra proyecciones referenciales de población en el cantón Loreto para zona urbana y rural, datos obtenidos del INEC.

PARROQUIA	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Loreto	4646	4707	4764	4817	4865	4909

Tabla 2- 9. Proyección Referencial de población en zona urbana y rural en Loreto. (INEC, 2017)

Con los datos presentados en la tabla 2-9 en la ciudad de Loreto se procede a calcular la tasa de crecimiento anual mediante la ecuación 2-3

$$r = (Puc/Pci)^{1/tuc-tci}\text{-}1$$

Ecuación 2- 3 Tasa de crecimiento poblacional anual. (Simancas, 2019)

Donde:

r= tasa de crecimiento anual

Puc = población último censo

P_{ci} = población censo inicial

T_{uc} = tiempo último censo

T_{ci}=tiempo censo inicial

Así mismo la población futura se calcula según la siguiente fórmula

$$P_f=P_{uc}(1+r)^{Tf-T_{uc}}$$

Ecuación 2- 4. Cálculo de población futura. (Simancas, 2019)

En la tabla 2-10 se muestra la tasa de crecimiento anual con datos históricos desde el 2016.

AÑO	2016	2017	2018	2019	2020
Índice de crecimiento anual	1.312	1.210	1.112	0.996	0.904

Tabla 2- 10. Tasa crecimiento anual poblacional Loreto. (Pardo, 2020)

Si se toma en cuenta que en Loreto según datos de la CNT se tiene 517 clientes con servicios de telecomunicaciones y en base al promedio de personas por hogar para la ciudad de Loreto de 3,89, según datos del INEC, se obtiene un total de 2011 personas, con ello dicho valor nos permitirá conocer la población estimada de la localidad en la zona urbana, cuya población serán los potenciales clientes

Mediante la fórmula del índice de crecimiento relativo, según la ecuación 2-5 y con los datos de la tabla 2-10, se procede a estimar el tamaño relativo de la población inicial, los mismos que se presentan en la Tabla 2-11.

$$i=\frac{P_f}{Po}$$

Ecuación 2- 5. Índice de crecimiento relativo. (Panchi, 2016)

AÑO	2016	2017	2018	2019	2020
Población estimada (Hab.)	1143	1500	1816	2019	2011

Tabla 2- 11. Datos históricos de población estimada en zona urbana Loreto (usuarios potenciales). (Pardo, 2020)

Así mismo con el método de regresión lineal, para determinar la demanda futura a 5 años, y según la ecuación 2-5 se determina la demanda futura:

$$y-\overline{y}=\frac{\sigma_{xy}}{\sigma x2}(x-\overline{x})$$

Ecuación 2- 6. Recta regresión lineal bidimensional Y sobre X. (Sebastian, 2015)

y = variable dependiente

x = período (0, 1, 2, 3 y 4)

$\sigma_{xy=}$ covariancia

σ_x^2=variancia de x

$\overline{y}$ =media aritmética de y

$\bar{x}$ = media aritmética de x

$$\sigma_x^2=(\sum x_i^2*f_i)\ /N - \bar{x}^2$$

Ecuación 2- 7. Variancia de X. (Sebastian, 2015)

Donde

f_i= 1, debido a que los datos no están agrupados

N= 5

$$\sigma_{xy}=\sum(x*y*f)/N - \bar{x}*\bar{y}$$

Ecuación 2- 8. Covariancia. (Sebastian, 2015)

En la tabla 2-12 se muestra los cálculos realizados según las ecuaciones 2-7 y 2-8.

AÑO	X	Y	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$x_i^2*f_i$	$x*y*f$	σ_x^2	σ_{xy}
2016	0	1143	2	1698	0	0	2	451
2017	1	1500			1	1500		
2018	2	1816			4	3632		
2019	3	2019			9	6057		
2020	4	2011			16	8044		
TOTAL	**10**	**8489**			**30**	**19233**		

Tabla 2- 12. Tabla de datos para encontrar la recta de regresión de Y sobre X. (Pardo, 2020)

Utilizando la ecuación 2-6 se obtiene:

$$Y-1698=451/2(x-2)$$

$$Y=226x-1247$$

Ecuación 2- 9. Regresión lineal estudio estadístico. (Pardo, 2020)

Reemplazando valores de X (5, 6, 7, 8 y 9) en la Ecuación 2.9, que corresponde a la fórmula de regresión lineal se obtiene la proyección de la población hasta el año 2025, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2-13.

AÑO	2021	2022	2023	2024	2025
Población (Hab.)	-117	109	335	561	787

Tabla 2- 8. Población estimada en sector Urbano Loreto hasta 2025. (Pardo, 2020)

Con los valores de población mostrados en la Tabla 2-13, se determina el número de familias para la zona urbana de la ciudad de Loreto, de las cuales se calcula el 97,0% que corresponde al porcentaje de demanda insatisfecha, obteniendo como resultado la demanda proyectada para el sector.

AÑO	NÚMERO DE FAMILIAS	PORCENTAJE DEMANDA INSATISFECHA (%)	DEMANDA PROYECTADA
2021	-30	97	-29
2022	28	97	27
2023	86	97	83
2024	144	97	140
2025	202	97	196

Tabla 2- 9. Demanda proyectada por familias hasta el 2025. (Pardo, 2020)

Según la tabla 2-14 se observa que para el año 2021 no existe crecimiento en la población, y para el año 2025 existe un crecimiento de 196 familias, esto demuestra que la demanda de usuarios para el 2025 se incrementará muy poco, lo cual, es un dato importante a considerar para el diseño de ODN. En la figura 2-7 de indica la recta de crecimiento de la demanda proyectada para la localidad de Loreto hasta el año 2025.

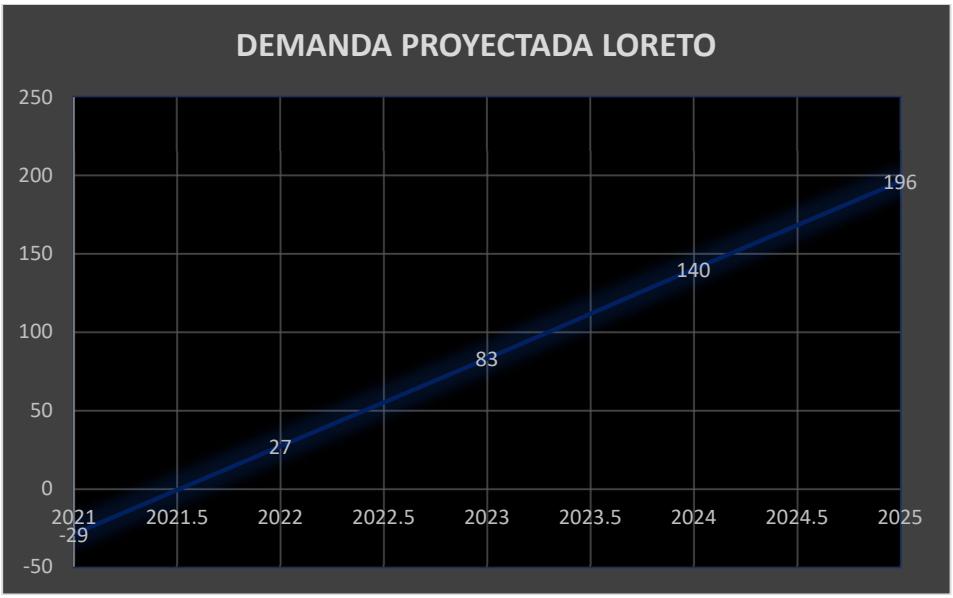


Figura 2- 7. Crecimiento de Demanda Proyectada. (Pardo, 2020)

En las tablas 2-15 y 2-16 se indica el incremento de usuarios de internet fijo y móvil en la provincia de Orellana según datos de la ARCOTEL, que se presenta a continuación:

PROVINCIA	CUENTAS TOTALES OCT-2017	CUENTAS TOTALES NOV-2017	CUENTAS TOTALES DIC-2017
ORELLANA	9,361	9,534	9,551
	Cuentas Totales Oct-2018	**Cuentas Totales Nov-2018**	**Cuentas Totales Dic-2018**
	10,159	10,214	10,181
	Cuentas Totales Jul-2019	**Cuentas Totales Ago-2019**	**Cuentas Totales Sep-2019**
	10,884	10,918	10,915
	Cuentas Totales Ene-2020	**Cuentas Totales Feb-2020**	**Cuentas Totales Mar-2020**
	11,477	11,475	11,407

Tabla 2- 105. Datos de Cuentas y de Usuarios estimados de Internet Orellana. (ARCOTEL, 2018)

En la tabla 2-16 se muestran las cuentas de internet fijo con respecto a internet móvil a nivel nacional, según la ARCOTEL.

CUENTAS INTERNET FIJO Y MÓVIL											
Año	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020***
Internet Fijo	3.35%	4.47%	5.98%	6.88%	8.25%	9.16%	9.76%	10.61%	11.48%	12.12%	12.25%
Internet Móvil	2.35%	10.48%	22.15%	26.66%	30.79%	34.97%	47.04%	52.50%	54.88%	54.06%	52.98%

Tabla 2- 116. Cuentas del Servicio de Acceso a Internet Fijo y Móvil a nivel nacional. (ARCOTEL, 2018)

Capítulo 3: DISEÑO DE LA RED FTTH GPON

En el presente capítulo se aborda los estándares PON desarrollados por la ITU, la evolución y especificaciones de cada uno de ellos, en especial el estándar objeto del presente caso de estudio. A continiuación se realiza la selección del modelo de red FTTH que se va a utilizar para el diseño, de acuerdo a la normativa de CNT EP; teniendo en cuenta los lineamientos de la empresa y una vez determinado el modelo de red, se procede a realizar el diseño de toda la ODN en la localidad de Loreto, según la demanda de posibles clientes potenciales determinada en la sección anterior.

3.1. Análisis normas ITU para redes FTTH-xPON

Las redes PON, no están exentas de estandarización ya que este aspecto es fundamental en telecomunicaciones. Las dos principales organizaciones de estandarización en el campo de las telecomunicaciones son:

- ITU: International Telecommunication Union
- IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers.

Existen varios estándares para redes ópticas pasivas, como se indica a continuación:

- ITU-T: B-PON, GPON, X-GPON, NGPON2
- IEEE: EPON, 10GEPON, NG-EPON

Cada estándar ha sido gestado por grupos de trabajo que representan a las instituciones y organizaciones de mayor importancia en el sector, para la ITU tenemos el grupo de trabajo FSAN (Full Service Access Network) y para la IEEE el Ethernet in the First Mile (EFM).

En la figura 3-1 se muestra los diferentes estándares desarrollados por la FSAN Y EFM:

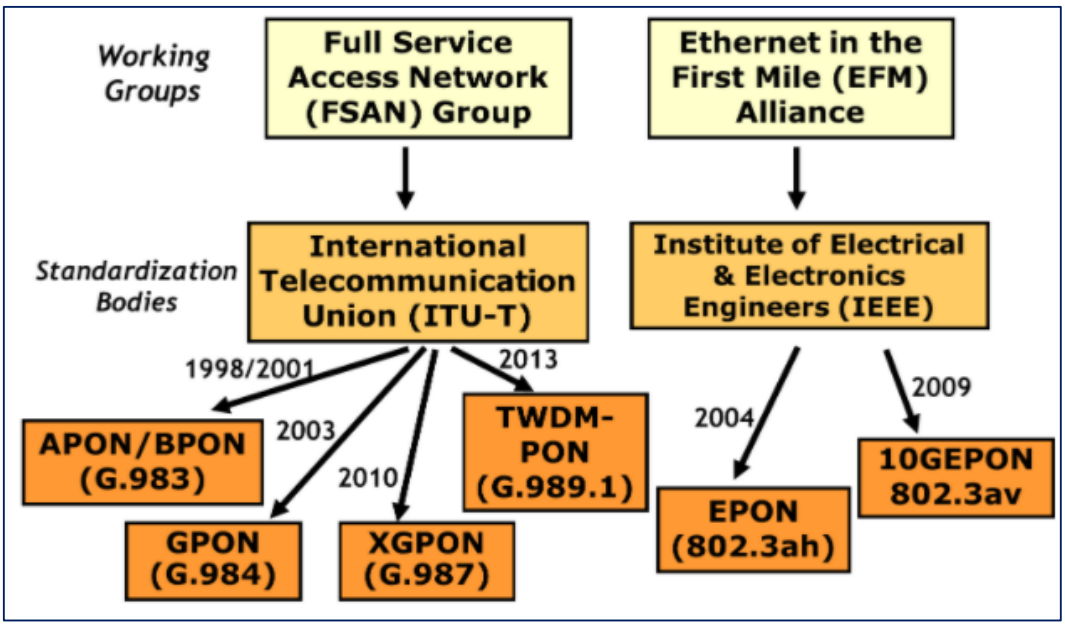


Figura 3- 1. Estándares PON y estándares IEEE. (Straullu, Abrate, & Gaudino, 2015)

La organización ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es una de las organizaciones más importante con respecto a tecnologías de la información. Representa un eje global para los estados, así como para el sector privado en el desarrollo de redes y servicios.

Los estándares de la ITU-T, en el que se encuentra el estándar objeto del presente trabajo, se indican a continuación:

- APON (Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network): la primera versión FSAN ITU G.983.1, dicho estándar está obsoleto.
- BPON (Broadband Passive Optical Network), obsoleto actualmente.
- GPON (Gigabit PON), normalizada en las recomendaciones G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.5, G.984.6 y G.984.7 tecnología madura, en vigor actualmente; estándar usado en el presente estudio.
- XGPON, se normalizó con el estándar ITU-T G.687.
- NG-PON2 Next-generation PON normalizado en la recomendación G.989. (Straullu, Abrate, & Gaudino, 2015).

En la figura 3-2, se muestra los estándares en vigor desarrollados por FSAN y su evolución, en la cual se observa que GPON es una tecnología madura, y NG-PON2 es la tecnología en la que FSAN actualmente está trabajando.

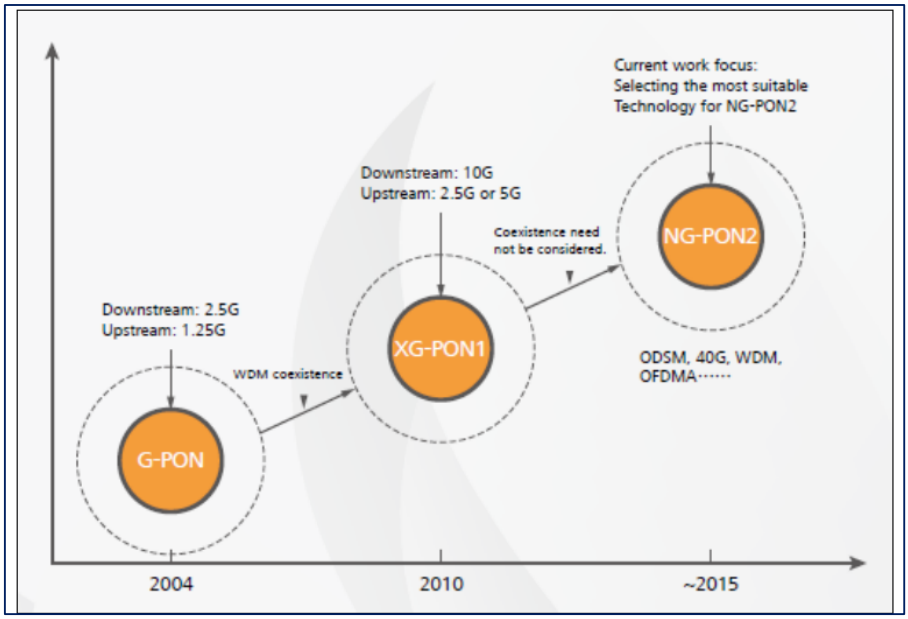


Figura 3- 2. Estándares PON y su evolución. (Moreno & Fábrega, 2018)

En la figura 3-3 se indica la evolución y las especificaciones de las redes PON.

ITU-T	APON	BPON	GPON1	GPON2
Año	1996	2001	2003	2007
Estándar	ITU- T G.983.1	ITU- T G.983 S	ITU- T G.984	ITU- T G.984.5
Velocidad DS	155 Mbps	622 Mbps	2,50 Gbps	2,50 Gbps
Velocidad US	155 Mbps	622 Mbps	1,25 Gbps	2,50 Gbps
λ (nm) de DS	1490	1490	1480 - 1500	1480 - 1500
λ (nm) de US	1300	1300	1260 - 1360	1390 - 1330
Split Ratio	1:32	1:32	1:64; 1:128	1:64; 1:128
Distancia	20 km	20 km	20 km	20 km

Figura 3- 3. Evolución de estándares de la ITU-T para redes PON. (Loayza, 2019)

3.2. Análisis y selección del modelo de la red FTTH GPON

En la sección 1.7 se estudiaron los conceptos de modelos de redes FTTH, el modelo de redes flexibles y el modelo de redes rígidas, en la cual se evidenció las diferencias en cada uno de ellos; teniendo en cuenta los lineamientos de la empresa se estable el modelo a utilizar para el presente estudio, según se detalla a continuación.

La CNT EP, inicialmente desplegó redes flexibles, pero recientemente para abaratar costos y dar un mejor uso de los puertos de la OLT, así como también una mejor utilización de los hilos de la fibra óptica, tanto en el feeder, como en la red de distribución está utilizando el modelo de red rígida, con la cual se cubre mayor número de usuarios, y de esta manera se ahorra costos, permitiendo que el costo de CAPEX[7] (capital expenditures, i.e., inversión inicial) sea menor con respecto a una red flexible, y el costo de una red FTTH se disminuya sustancialmente.

Lo que la hace a una red flexible más costosa con relación a una red rígida es el costo de un FDH, los cables en la red de distribución que deben ser de mayor capacidad, y también se utiliza más puertos PON en la OLT que con respecto a una red rígida.

La tecnología GPON, es decir los equipos activos tanto OLT, como ONT permiten operar bajo tres niveles de spliteo 1/32, 1/64 y 1/128, es decir que se puede brindar servicios por cada puerto PON a 32, 64 y 128 abonados respectivamente.

En base a ello para el presente caso de estudio se ha escogido el modelo de red rígida, con un nivel de spliteo de 1/64, que es el que actualmente se está utilizando en la empresa y de esta manera lograr que el costo de implementar una ODN para la localidad de Loreto sea lo más económico posible, utilizando la infraestructura existente que la CNT EP mantiene en dicho sector, como lo es la infraestructura de canalización telefónica, y así también conseguir que se utilice de mejor manera los hilos de los cables de la red feeder, como también los de la red de distribución, permitiendo atender a 64 clientes por cada puerto PON de la OLT, esto debido al doble nivel de spliteo que se tendrá en el diseño, lo que también permitirá ahorrar tarjetas PON en la OLT.

[7] CAPEX. Inversión necesaria para mantener o expandir los bienes de capital (fábricas, maquinaria, vehículos, etc.), muy importante dentro de la actividad de una empresa. (Lopez, 2020)

3.3. Diseño de la red FTTH-GPON

Como se indicó en la figura 2-1, la zona de cobertura para el diseño de la red ODN, es la parte urbana del cantón Loreto, que es en donde se tienen la mayor densidad poblacional y por ende la mayor cantidad de usuarios potenciales.

Como se menciónó anteriormente, en la actualidad la red de acceso de la CNT EP en la ciudad de Loreto, presenta una infraestructura de cobre en toda la ciudad, a través de la cual brinda servicios de telefonía fija e internet a clientes residenciales.

Para el dimensionamiento de la red se ha considerado como clientes potenciales aquellos que actualmente ya cuentan con el servicio de telefonía e internet con la CNT EP a través de la red de cobre, así también en base al análisis de demanda realizado en el capítulo anterior se proyecta un número adicional de clientes y de esta manera se pueda cubrir con la nueva red de fibra óptica a todos los clientes actuales y a la demanda proyectada.

Para el diseño de la ODN se ha considerado las recomendaciones y estándares de la ITU-T, para GPON, así como también la normativa técnica de diseño de CNT EP. Los puntos relevantes que se tomaron en cuenta para el diseño de la ODN y en base a la normativa de diseño de la CNT EP se procedió con el levantamiento de elementos de red georerefenciados, postes eléctricos, postes proyectados, pozos de canalización existentes, pozos proyectados; para ello se cuenta con un plano base georeferenciado de la ciudad de Loreto, en la que está detallado toda la planimetría, nombres de calles, avenidas, predios para posteriormente plasmar toda la infraestructura física del diseño de la red en un plano georeferenciado. Se utilizó la normativa de diseño de la CNT EP, utilizando los bloques de cada elemento según la normativa y colocando cada elemento según las capas correspondientes indicadas en la normativa de diseño tanto elementos existentes, así como elementos proyectados. En el anexo A se puede encontrar la normativa de diseño de CNT EP.

De acuerdo a la demanda existente y proyectada obtenida en el capítulo anterior, se ha definido tres áreas de cobertura (mangas troncales) para el diseño de la red ODN en la ciudad de Loreto. En la figura 3-4 se indica el área de cobertura de toda la red, así como la cobertura de cada manga troncal:

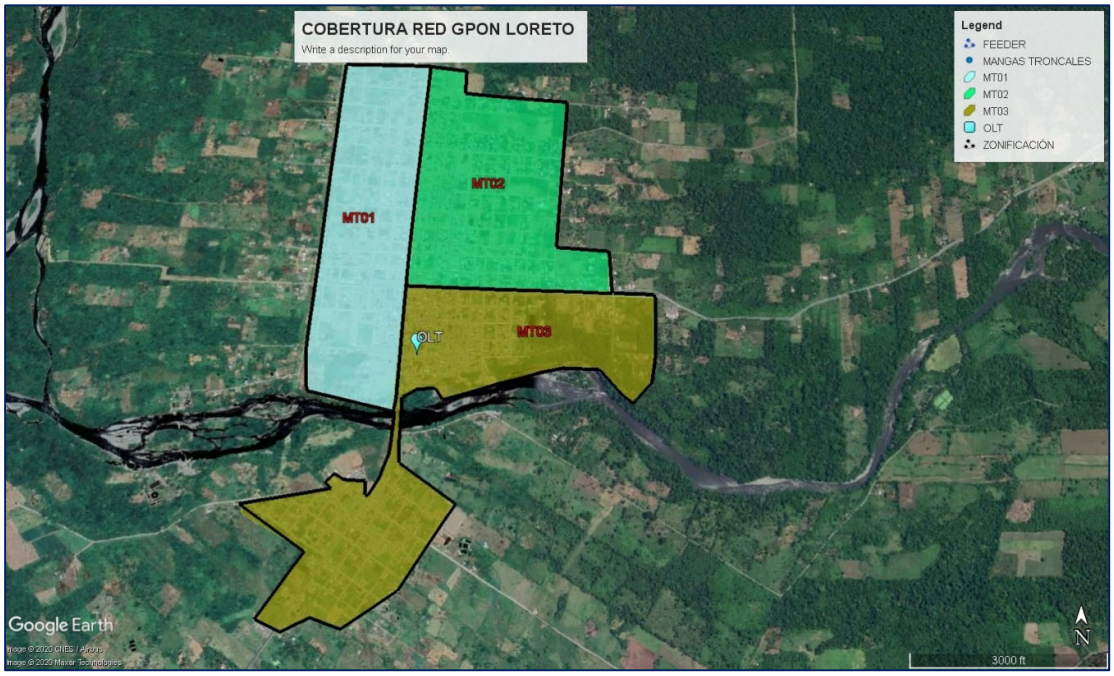


Figura 3- 4. División del área de cobertura Red ODN Loreto. (Pardo, 2020)

Una vez determinada el área de cobertura de cada manga troncal, para el diseño de la red, se considera la ubicación de la OLT en el nodo de las calles Clotario Vargas entre José Leiva y Mateo Puraquilla, coordenadas UTM[8] WGS84 17S (x=910887 y=9923347), como se muestra en la figura 3-4. Dicho equipo activo estará interconectado por la red feeder, red de distribución, red de dispersión, llegando a la roseta y finalmente a un equipo terminal óptico ONT de usuario, tomando en cuenta que la distancia de fibra máxima entre OLT y ONT es de 20Km, según el estándar G.984.1.

[8] UTM (Universal Transverse Mercator), se utiliza para referenciar cualquier punto de la superficie terrestre, utilizando para ello un tipo particular de proyección cilíndrica para representar la Tierra sobre el plano. (AristaSur, 2014).

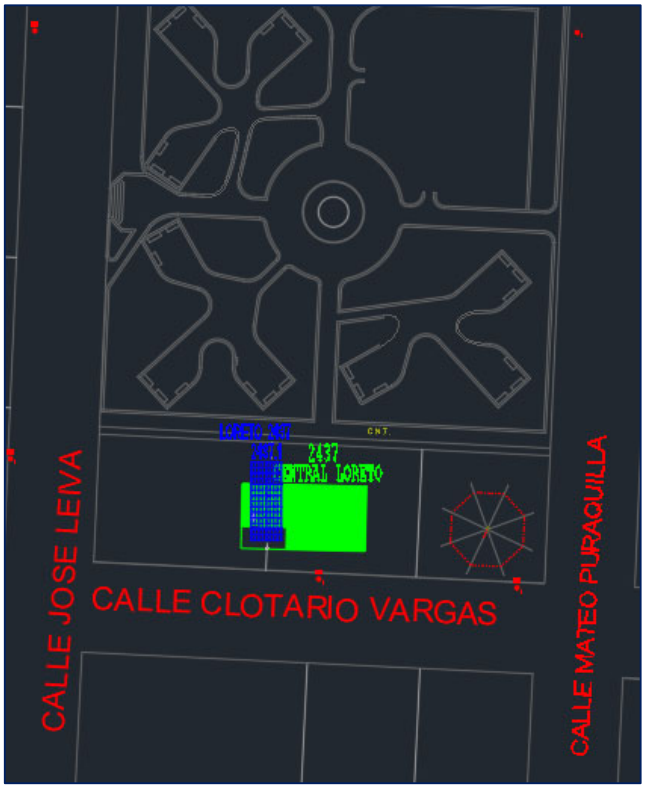


Figura 3- 5. Ubicación OLT Central Loreto-CNT EP. (Pardo, 2020)

La CNT EP en la ciudad de Loreto tiene 517 clientes de telefonía fija con cobre y 400 clientes de internet en los armarios de cobre existentes; así también de acuerdo a la demanda proyectada de posibles usuarios potenciales a 5 años determinada en el capítulo tres, se necesita una OLT que preste un servicio para aproximadamente 896 usuarios. De acuerdo al diseño realizado en campo, y según la ubicación de cada cajetín telefónico en las diferentes avenidas de la ciudad, teniendo en cuenta que cada uno de ellos atiende a 8 clientes, se obtuvo un total de 112 NAPS, es por ello que para el presente caso de estudio se obtiene aproxidamente una red para 896 clientes potenciales. En el diseño se deja un total de 64 reservas de NAPS, las mismas que se pueden ampliar a futuro, según vaya creciendo la demanda de usuarios, sumando las reservas y las NAPS que quedarán activas se obtiene una red para un total de 1408 posibles usuarios potenciales.

En la figura 3-6 se indica el crecimiento de velocidad de internet fijo a nivel de latinoamérica, por ende se considera que la velocidad promedio en la actualidad para Ecuador es de 20Mbps por hogar; un ancho de banda considerable para aplicaciones como youtube, google, skype, netflix.

Region	2017	2018	2019	2020	2021	2022	CAGR (2017–2022)
Global	39.0	45.9	52.9	60.4	67.9	75.4	14%
Asia Pacific	46.2	62.8	79.4	87.5	92.7	98.8	16%
Latin America	11.7	15.7	19.7	22.0	25.0	28.1	19%
North America	43.2	56.6	70.1	79.6	87.9	94.2	17%
Western Europe	37.9	45.6	53.2	60.8	68.4	76.0	15%
Central and Eastern Europe	32.8	35.0	37.2	40.8	43.7	46.7	7%
Middle East and Africa	7.8	9.7	11.7	15.7	17.6	20.2	21%

Figura 3- 6. Crecimiento de velocidades de internet fijo en todo el mundo. (CISCO, 2018)

Se puede observar en la Figura 3-6 que el ancho de banda promedio al 2020 para nuestra región es de 22.0 Mbps y al 2022 es de 28.1Mbps, en base a ello se realiza el cálculo del coeficiente de crecimiento hasta el 2022.

$$Coe_{AB} = \frac{velocidad\ proyectada}{velocidad\ actual}$$

Ecuación 3- 1. Coeficiente de crecimiento de velocidad de internet (Loayza, 2019)

Coe_{AB} = (28.10 Mbps) / (22.00 Mbps)

Coe_{AB} = 1.28

Para determinar el nivel de spliteo, se lo realiza en base a la siguiente formula:

$$AB_{proy} \leq \frac{Velocidad\ de\ descarga GPON}{nivel\ de\ spliteo}$$

Ecuación 3- 2. Determinación del ancho de banda y nivel de spliteo óptimo (Loayza, 2019).

Donde:

AB_{proy}= ancho de banda proyectado

Coe_{AB}= coeficiente de crecimiento; por lo tanto

AB_{proy}= 22Mbps*1.28=28.16Mbps

Comprobación de nivel de spliteo 1/64, para clientes residenciales:

$28.16Mbps \leq \frac{2500Mbps}{64}$

28.16 Mbps ≤39.06Mbps

Con ello se comprueba que el nivel de spliteo de 1/64 es el óptimo, ya que puede brindar hasta 40Mbps por cada 64 abonados, indicando que dicho valor, es considerando que todos los 64 clientes usan al mismo tiempo el puerto, y esto en la realidad no sucede. Para un nivel de spliteo de 1/128,con el que no se cumple la ecuación.

Al ser una red GPON, se puede tambien atender a clientes corporativos. Se realiza el cálculo para el caso de un cliente corporativo, en el cual utilizaun puerto PON

Comprobación de nivel de spliteo 1/64, para un cliente corporativo:

$28.16\text{Mbps} \leq \frac{2500Mbps}{1}$

28.16 Mbps ≤2500Mbps

Con lo que se concluye que en la ODN se puede dotar de servicios para clientes residenciales y corporativos.

La OLT a instalarse debe cumplir con características técnicas como:

- Soporte de ancho de banda necesario mínimo para 896 clientes, según la recomendación de la UIT-T
- Puerto para conexión entre la ODN y la red de transporte de CNT EP, con capacidad mínima de 1 Gigabit.
- Transmisión en las ventanas de 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm y 1625nm
- Puertos PON, con división mínima de 1:32, hasta 1:128
- Se podrá atender 512 usuarios por tarjeta. Para el caso de estudio, se tiene capacidad de 1536 usuarios, de esta manera se ocupará el 58.3% de la capacidad de la OLT cubriendo los 896 usuarios calculados.

La OLT del fabricante Huawei, modelo SmartAX MA5600T, es el equipo que se seleccionó en el presente proyecto, teniendo en cuenta que la empresa actualmente tiene a nivel nacional en sus diferentes nodos instalados dicha marca de equipos, del fabricante huawei, ya que al ser una empresa pública tiene un contrato de instalacion de dichos equipos con la empresa huawei, y se debe considerar que ya que cumple con todas las especificaciones técnicas requeridas de acuerdo a la localidad y demanda de clientes:

- Respaldo de energía, especialmente en ambientes donde la energía eléctrica es inestable, que es el caso de la ciudad de Loreto.
- Es un equipo para instalar en ambientes indoor, incluye gabinete.
- Un equipo de alta capacidad, con tarjetas de gestión y control (slot 9 y 10) tarjetas de poder (slot 21 y 22), tarjetas de uplink (slot 19 y 20), tarjetas de servicios (slot 1 al 8 y 11 al 16), tarjeta de 16xE1s para tráfico de telefonía (slot 17 y 18) que en caso de

necesidad se pueden usar como tarjetas de servicio, como se muestra en la figura 3.5. Para el presente proyecto se necesita 3 tarjetas de servicio.

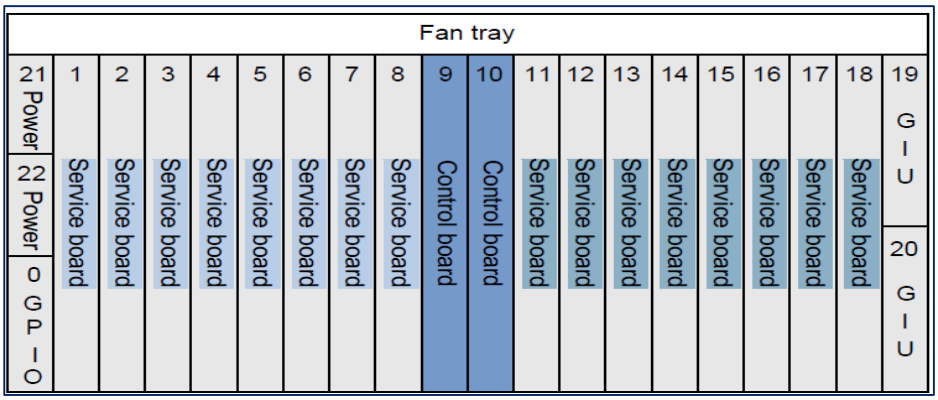


Figura 3- 7.Chasis OLT MA5600T. (Huawei Technologies CO., LTD., 2017)

- Soporta todos los estándares GPON, de la ITU-T, G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4, G.984.5, G.984.6, G.984.7; así también estándares de 10 GPON ITU-T G.987.1, G.987.2, G.987.3, G.988.
- Presupuesto óptico soportado Class B+ (28.5dB) que es le mayormente usado.
- Mínimo ancho de banda soportado por T-CONT[9] de 1Mbps en modo retardado y 128Kbps máximo ancho de banda en modo de uso, para las tarjetas de servicio H806GPBH.
- Capacidades de acceso GPON, 10GPON, POTS, VDSL2, ADSL2+, P2P.
- Opera en ambientes desde –25°C hasta +55°C.
- 16 tarjetas de servicio, es decir el módulo soporta hasta 128 puertos PON. (Huawei Technologies CO., LTD., 2017).
- Máxima distancia de fibra diferencial hasta 40km para la tarjeta H806GPBH.
- Hasta 3872 puertos GEM[10], por cada puerto PON, 8192 puertos GEM por cada tarjeta. (Huawei Technologies CO., LTD., 2017).

Una vez seleccionada la OLT, se procede con el diseño de la red GPON rígida, ubicación de las mangas troncales, y diseño de la ruta del feeder y diseño de la red de distribución.

Para la ubicación de las mangas troncales, se tomó en cuenta la infraestructura existente de canalización, según la demanda de posibles clientes y para el tendido del feeder con fibra

[9] T-CONT. Contenedores de tráfico de datos. (Loayza, 2019)
[10] GEM. GPON Encapsulation Method, Para el encapsulamiento de las tramas ethernet (Loayza, 2019)

monomodo G.652D. En la figura 3-8 se muestra el tendido de la red feeder para alimentar las 3 mangas troncales.



Figura 3- 8. Ruta del feeder Loreto-CNT EP (Pardo, 2020)

Para cubrir los 896 posibles usuarios con la red GPON, se distribuyó en tres mangas troncales, con un total de 22 splitters primarios, con el cual se puede atender a 1408 clientes en total, cantidad que está por encima de la demanda establecida, teniendo en cuenta que se dejan hilos de reserva tanto en el feeder como en distribución, así también teniendo la posibilidad de crecer en tarjetas en la OLT. A continuación, se muestra la ubicación de las mangas troncales, así como el recorrido del feeder, según la figura 3-9.

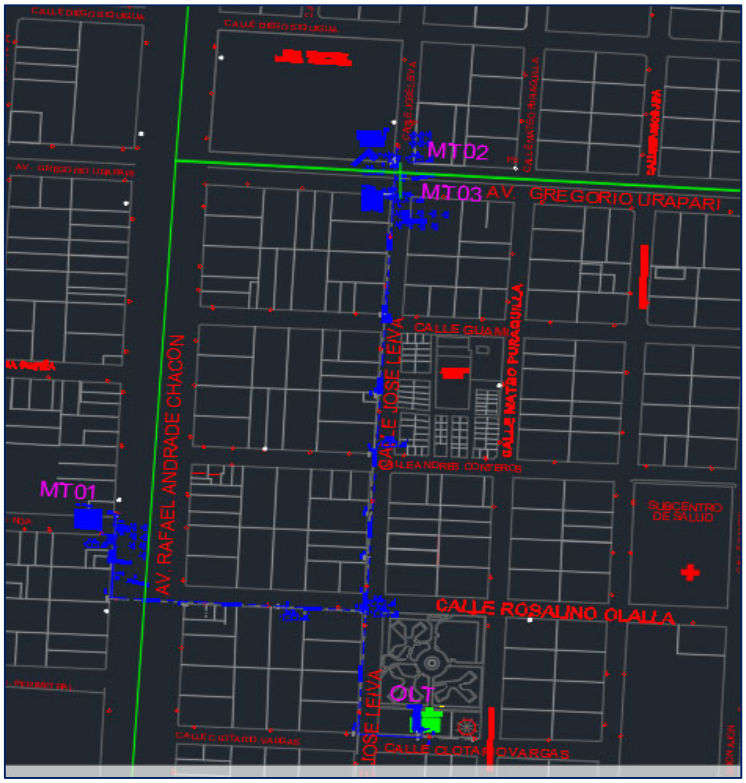


Figura 3- 9. Ubicación de mangas troncales y recorrido del feeder Loreto-CNT EP. (Pardo, 2020)

De acuerdo al levantamiento realizado en campo, para el diseño de la red feeder, y según la demanda estimada se estableció la necesidad de 3 mangas troncales, y en la tabla 3-1 se muestra la distancia de cada manga troncal desde la OLT:

MANGA TRONCAL	UBICACIÓN	NÚMERO DE SPLITTERS	NIVEL DE SPLITEO	DISTANCIA DESDE LA OLT(m)	COORDENADAS (UTM WGS84 18S)	
					LATITUD	LONGITUD
MT01	Av. Rafael Andrade y Prudencio Noa	7	1/64	252	242763	9923574
MT02	Av. Gregorio Urapari y José Leiva	6	1/64	613	242921	9923814
MT03	Av. Gregorio Urapari y José Leiva	9	1/64	590	242920	9923793

Tabla 3- 1. Ubicación de mangas troncales y distancia a la OLT. (Pardo, 2020)

Autor: Dorian Pardo

Para la red feeder del presente diseño, se ha considerado fibra óptica monomodo (single mode) SM, ya que cumple con las características ópticas, mecánicas y geométricas, y cable subterráneo, totalmente dieléctrico, ya que al ser un cable de alta capacidad debe ser canalizado en su totalidad. Se ha considerado dejar reservas en el cable para atender futura demanda; en la terminación del cable, y donde existe empalmes. La capacidad que se consideró del feeder para el presente caso de estudio es de 96 hilos el mismo que alimentará las mangas troncales MT02 y MT03, mientras que la extensión de cable canalizado de 24 hilos alimentará la MT01. Se asigna un buffer completo del cable para cada manga troncal, para llevar un orden en la red, conforme la misma vaya creciendo, en el que cada buffer es de 12 hilos.

El cable debe estar identificado conforme al sistema internacional de código de colores (TIA/EIA-598-B), según se muestra en la figura 3-10.



Figura 3- 10. Código internacional de colores (TIA/EIA-598-B. (Agila, 2019)

El recorrido del cable principal de 96 hilos es sobre la Av. José Leiva hasta cruzar la Av. Gregorio Urapari; utilizando la infraestructura existente de canalización telefonica de CNT EP, la misma que está construida con tuberia PVC, atravesando los diferentes pozos existentes construidos bajo la normativa de la empresa. De la misma manera el recorrido del

cable canalizado de 24 hilos que nace en una manga de fusion ubicada en un pozo existente en la Av. Jose Leiva y Rosalino Olalla, dicho cable atraviesa la calle Rosalino Olalla, llegando a la Av. Principal Rafael Andrade Chacón hasta lllegar a la manga troncal 1, que está en la esquina de la calle Prudencio Noa, en el anexo B se detalla el diseño completo de la red feeder

En cada manga troncal se alojan los splitters planares de división 1/8 PLC (Planar Lightwave Circuit), ya que al ser una ODN con doble nivel de spliteo según el modelo de ODN descrito anteriormente , y es en las mangas troncales donde se aloja el primer nivel de spliteo, ya que, al ser elementos pequeños, se pueden alojar en las bandejas de las mangas. En cada splitter 1/8 alojado en cada una de las mangas, se fusionará el hilo primario de cada uno de ellos con cada hilo del cable feeder, conforme se indica en la tabla 3-2:

MANGA TRONCAL	HILOS FEEDER(BUFFER1)	SPLITTER 1/8	MANGA TRONCAL	HILOS FEEDER(BUFFER2)	SPLITTER 1/8	MANGA TRONCAL	HILOS FEEDER (BUFFER 3)	SPLITTER 1/8
MT01	1	1	**MT02**	13	1	**MT03**	25	1
	2	2		14	2		26	2
	3	3		15	3		27	3
	4	4		16	4		28	4
	5	5		17	5		29	5
	6	6		18	6		30	6
	7	7		19	LIBRE		31	7
	8	LIBRE		20	LIBRE		32	8
	9	LIBRE		21	LIBRE		33	9
	10	LIBRE		22	LIBRE		34	LIBRE
	11	LIBRE		23	LIBRE		35	LIBRE
	12	LIBRE		24	LIBRE		36	LIBRE

Tabla 3- 2. Asignación de fibras del cable feeder a cada splitter. (Pardo, 2020)

En las mangas troncales, donde se alojan los splitter 1/8 es donde se realiza el primer nivel de spliteo, por ende las mangas a usar son de tipo domo de 288 fibras, cada splitter tiene un puerto de entrada (para fusionar los hilos del feeder) y 8 puertos de salida (para fusionar los hilos de distribución), es por ello que se realiza una fusión directa entre los hilos del feeder con cada splitter primario alojado en las mangas y como se detalla en la tabla 3-2 existen 7 splitters en la MT01, 6 en la MT02 y 9 en la MT03.

En la figura 3-11 se muestran las características técnicas más importantes de un splitter planar PLC.

Parameters		1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64
Operating Wavelength(nm)		1260 - 1650					
Insertion Loss (dB)	Max	4.0	7.3	10.5	13.7	16.9	21.0
Uniformity (dB)	Max	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5	2.5
Return Loss(dB)	Min	50	50	50	50	50	50
PDL (dB)	Max	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4
Directivity(dB)	Min	55	55	55	55	55	55
Pigtail length (m)		1.5 ± 0.1 or customer specified					
Fibre type		SMF – 28e or customer specified					
Wave length dependent loss(dB)	Max	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Temp stability (-40~85℃)(dB)		?0.5±0.002					
Work temp(℃)		-40~85					
Storage temp(℃)		-40~85					

Figura 3- 11. Parámetros técnicos de un splitter PLC. (López E. , 2013)

Una vez realizado el diseño de la red troncal, se procedió con el diseño de la parte intermedia de la ODN, la misma que nace a la salida de los splitters primarios PLC 1/8 que están alojados en las mangas troncales y finaliza en los splitters 1/8 conectorizados que están alojados en las NAP.

En la figura 3-12 se muestra una parte de la red de distribución que se ha diseñado en el presente caso de estudio, dicha red es extensa ya que recorre toda la parte urbana de la ciudad de Loreto, para el detalle completo del diseño de la red, favor referirse a los documentos descritos en el anexo B.

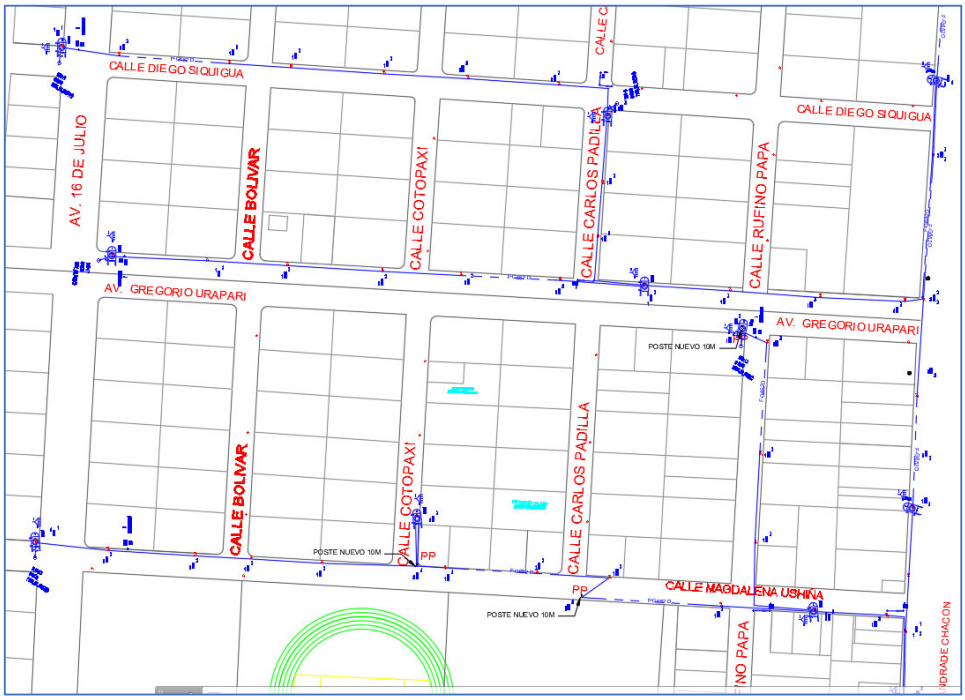


Figura 3- 12. Diseño Red de Distribución AUTOCAD (Pardo, 2020)

Las características del splitter conectorizado SC/APC con un puerto de entrada y 8 de salida adosado sobre las bandejas de las NAP de distribución (segundo nivel de spliteo),

permite que con un hilo de fibra del cable de distribución se tenga 8 fibras de salida, con ello se tiene 8 abonados por NAP, pudiendo incrementar en la NAP un splitter adicional para atender hasta 16 abonados por NAP. En la figura 3-13 se indica las características técnicas más importantes para un splitter conectorizado 1/8 SM, SC/APC.

Operating Wavelength(nm)	1260-1650	Inspected Date	2015-7-30
P/N:	PLC108-0.9-1M-SA-0.9-1M-SA	S/N	201507301145
Fiber Type	G657A	Fiber Length(m)	≥1.0
Connector Type	SC/APC	Package Dimension(mm)	4*7*60
Storage Temperature	-40～+85℃	Operating Temperature	-40～+85℃

Item	IL(dB)		PDL(dB)		RL(dB)	
Wavelength(nm)	1310	1550	1310	1550	1310	1550
Spec.	MAX 10.5		MAX 0.2		>55	
Port1	10.37	10.09	0.03	0.02	Pass	Pass
Port2	10.18	10.16	0.03	0.04	Pass	Pass
Port3	10.38	10.20	0.02	0.03	Pass	Pass
Port4	10.11	10.15	0.04	0.04	Pass	Pass
Port5	10.06	10.11	0.03	0.03	Pass	Pass
Port6	10.15	10.10	0.03	0.02	Pass	Pass
Port7	10.26	10.38	0.03	0.03	Pass	Pass
Port8	10.05	10.36	0.03	0.02	Pass	Pass
Input						
MAX.	10.38	10.38	0.04	0.04	N/A	
MIN.	10.05	10.09	0.02	0.02	N/A	
Average	10.19	10.19	0.03	0.03	N/A	
Uniformity(≤0.8dB)	0.33	0.29	Directivity(dB)		>55	

Figura 3- 13. Parámetros técnicos de un splitter PLC. (ANVIMUR, s.f)

Las NAP que se usaron para el diseño, deben cumplir las características para ramificaciones de cables y para dar servicio hasta 16 clientes, es decir 16 puertos para cable drop. Un modelo de referencia es BCH-GPJ09 – 8205 – 16U, fabricante BestCom, cuenta con 4 bandejas, capacidad para dos splitter conectorizado SM SC/APC, un puerto para derivación, puede alojar hasta 96 empalmes, como se indica en la figura 3-14.

REFERENCIA	NÚMERO DE BANDEJAS	CAPACIDAD DE EMPALME POR BANDEJA	PUERTOS DE ENTRADA SANGRÍA O DERIVACIÓN	PUERTOS DE ENTRADA SIMPLE CIRCULARES	PUERTOS DROP	ADAPTADORES	CANTIDAD DE EMPALMES	SPLITTERS
BCH-GPJO9-8205-8U	4	24	1	2*	16	8 SC/APC	96	1 splitter (uno por 8 vías G657A1)
BCH-GPJO9-8205-16U	4	24	1	2*	16	16 SC/APC	96	2 splitter (uno por 8 vías G657A1, o uno por 16 vías G657A1)
BCH-GPJO9-8202-24U	4	24	1	2*	24	24 SC/APC	96	3 Splitters ópticos con conectores SC/APC MINI PLC, de 8 vías – G657A1

* Incorpora 2 puertos de entrada simple (circulares) son entradas para cable troncal. Aparte se encuentran las entradas drops que son 16 o 24 segun el modelo.

Figura 3- 14. Características NAP, para el presente caso de estudio. (Lozano, 2018)

En la figura 3-15 se indica el diseño de la red de distribución y del feeder para alimentar a la MT01.

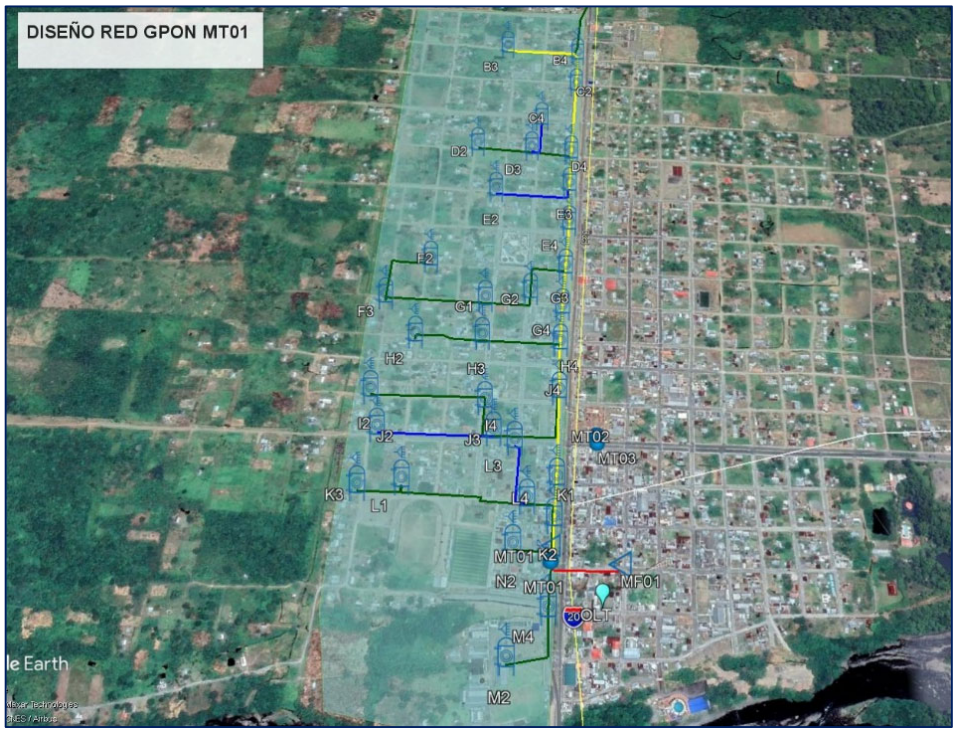


Figura 3- 15. Diseño Red feeder y Distribución para la MT01. (Pardo, 2020)

Capítulo 4. EQUIPOS ACTIVOS PARA REDES FTTH-GPON

En la presente sección se hace un analisis principalmente de tres fabricantes de equipos activos para cliente final para redes FTTH, y por cada uno de los fabricantes se realizará una comparación de sus especificaciones técnicas.

Se debe considerar que cada fabricante dispone en el mercado de diferentes modelos de equipos, se escogerá un modelo por cada fabricante, de entre los diferentes que existen, y en base a ello se procederá a recomendar finalmente el equipo para nuestro caso de estudio.

4.1. Análisis y características de equipos activos para redes FTTH de cliente final

Una vez levantado el diseño de la red GPON en la ciudad de Loreto, esto es la red feeder y red de distribución, es necesario hacer un análisis de los diferentes fabricantes de los equipos activos que se deben instalar hacia el lado del cliente, ya que existen diferentes fabricantes de ONT con diferentes modelos de equipos. Para el proyecto se seleccionará de entre los diferentes fabricantes y modelos de ONT, el que mayor se adapte al entorno para la localidad de Loreto de acuerdo al análisis de características de los equipos, para la determinación de las especificaciones técnicas, de acuerdo al manejo de tráfico de datos (calidad de servicio), según las siguientes especificaciones:

- Estándar GPON
- Alcance máximo
- Sensibilidad de recepción
- Mapeo flexible entre puertos GEM y T-CONT
- Modo trabajo
- Ambiente de trabajo del equipo

De acuerdo a dichas especificaciones, se ha considerado tres fabricantes; de los cuales se ha seleccionado un modelo de ONT, de entre varios modelos que cada fabricante provee al mercado de telecomunicaciones, como se indica en la tabla 4-1:

FABRICANTE	MODELO
HUAWEI	HG8245H
ZTE	ZXHN F660
FIBERHOME	AN5506-04- FAT

Tabla 4- 1. Fabricantes de equipos activos ONT. (Pardo, 2020)

A continuación, se detalla las características técnicas más importantes de cada uno de los equipos de cliente final según la figura 4-2:

ITEM	DESCRIPCIÓN EQUIPO HG8245H
Velocidad de transmisión	Rx 2.488Gbit/s, Tx: 1.244Gbit/s
Conector	SC/APC
Máximo alcance	20Km
Estándar	ITU-T G.984.2 CLASS B+
Longitud de onda central	Tx 1310nm Rx 1490nm
Potencia óptica de transmisión	0.5 dBm a 5.0 dBm
Sensibilidad máxima del receptor	-27dBm
Potencia máxima de sobrecarga	-8dBm
Número de puertos GEM	32
Número de TCONT	8
Relación de división	1/64

Tabla 4- 2. Especificaciones del puerto GPON. (Huawei Technologies CO., LTD., 2013)

ITEM	DESCRIPCIÓN EQUIPO HG8245H
Tipo de conector	RJ45
velocidad del puerto	10Mbit/s, 100Mbit/s o 1000Mbit/s
Máxima distancia de transmisión	100m
Estándar	IEEE 802.3i, IEEE 802.3u, IEEE 802.3ab
Especificaciones del cable	Categoría 5 UTP
Modo de trabajo	Auto-adaptive 10 Mbit/s, 100 Mbit/s o 1000 Mbit/s

Tabla 4- 3. Especificaciones del puerto GE ethernet. (Huawei Technologies CO., LTD., 2013)

ITEM	DESCRIPCIÓN EQUIPO HG8245H
Estándares	802.11b/g/n, IEEE 802.1q, 2x2 MIMO
Especificación	4 SSIDs, 13 canales de trabajo, Ajuste de velocidad automática, Ajuste potencia de transmisión
Autenticación	Sistema abierto y clave compartida
Encriptación	64-bit y 128-bit WEP, WPA-PSK, WPA2-PSK, WPA, WPA2, AES, y TKIP
Frecuencia	2.4 GHz, cada ONT hasta 6 conexiones Wireless
Ambiente de trabajo	0 ºC a +40ºC
Humedad ambiental	5% RH a 95% RH
Consumo de potencia	Estática 5 W, Máximo consumo 15.5 W
Puertos LAN	4

Tabla 4- 4. Indicadores de acceso a red Wireless y detalles del equipo. (Huawei Technologies CO., LTD., 2013)

ITEM	DESCRIPCIÓN EQUIPO ZXHN F660
Velocidad de transmisión	Rx 2.488Gbit/s, Tx 1.244 Gbit/s
Conector	SC/APC
Tipo de fibra	monomodo
Máximo alcance	20Km
Estándar	ITU-T G.984.X, CLASS B+
Longitud de onda central	Tx 1310nm, Rx 1490nm
Potencia óptica de transmisión	0.5 dBm a 5.0 dBm
Sensibilidad máxima del receptor	-28dbm
Potencia máxima de sobrecarga	-8dBm.
Número de puertos GEM	32
Número de TCONT	8
Relación de división	1/64

Tabla 4- 5. Especificaciones del puerto GPON. (ZTE Corporation, f.s)

ITEM	DESCRIPCIÓN EQUIPO ZXHN F660
Tipo de conector	RJ45
velocidad del puerto	10Mbit/s, 100Mbit/s o 1000Mbit/s
Máxima distancia de transmisión	100m
Estándar	IEEE 802.3ae, 802.1ad, IEEE 802.3ak, IEEE 802.3aj 802.1Q
Especificaciones del cable	Categoría 5 UTP
Modo de trabajo	Auto-adaptive 10 Mbit/s, 100 Mbit/s o 1000 Mbit/s

Tabla 4- 6. Especificaciones del puerto GE ethernet. (ZTE Corporation, f.s)

ITEM	DESCRIPCIÓN EQUIPO ZXHN F660
Estándares	802.11b/g/n (2*2 @2.4GHz, IEEE 802.1q
Especificación	4 SSIDs, 13 canales de trabajo, Ajuste de velocidad automática, Ajuste potencia de transmisión
Autenticación	Sistema abierto y clave compartida
Encriptación	AES-128, WPA-PSK, WPA2-PSK, WPA2-empresa
Frecuencia	2.4 GHz, máximo 32 usuarios
Ambiente de trabajo	0 ºC a +40ºC
Humedad ambiental	5% RH a 95% RH
Consumo de potencia	menor a 10W
Puertos LAN	4
Puertos GE	4
Puerto RJ11	2

Tabla 4- 7. Indicadores de acceso a red Wireless y detalles de equipo. (ZTE Corporation, f.s)

ITEM	DESCRIPCIÓN EQUIPO AN5506-04- FAT
Velocidad de transmisión	Rx 2.488Gbit/s, Tx 1.244 Gbit/s
Conector	SC/APC, SC/UPC
Máximo alcance	20Km
Estándar	IITU-T G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4, G.984.5 y G.988. Clase B+
Longitud de onda central	Tx 1310nm, Rx 1490nm
Potencia óptica de transmisión	0.5dBm a 5dBm
Sensibilidad máxima del receptor	-28dBm
Potencia máxima de sobrecarga	-8dBm
Número de puertos GEM	64
Número de TCONT	8
Relación de división	1/64

Tabla 4- 8. Especificaciones del puerto GPON. (YCICT CO, LIMITED, f.s)

ITEM	DESCRIPCIÓN EQUIPO AN5506-04- FAT
Tipo de conector	RJ45
velocidad del puerto	10Mbit/s, 100Mbit/s o 1000Mbit/s
Máxima distancia de transmisión	100m
Estándar	IEEE 802.3ab 802.11a/n/ac para 5Ghz, 802.1Q, 802.1p
Especificaciones del cable	Categoría 5 UTP
Modo de trabajo	Auto-adaptive 10 Mbit/s, 100 Mbit/s o 1000 Mbit/s

Tabla 4- 9. Especificaciones del puerto GE ethernet. (YCICT CO, LIMITED, f.s)

ITEM	DESCRIPCIÓN EQUIPO AN5506-04- FAT
Estándares	IEEE 802.11b/g/n (2.4 GHz) IEEE 802.11ac / 802.11n (5 GHz)
Especificación	4 SSIDs, 13 canales de trabajo 2.4 GHz 20 canales en 5GHz, Ajuste de velocidad automática, Ajuste potencia de transmisión
Autenticación	Sistema abierto y clave compartida
Encriptación	WEP 64 / 128 bit, TKIP, AES y AES/TKIP
	WPA, WPA2, WPA-PSK, WPA2-PSK and WPA-PSK/WPA2-PSK
Frecuencia	2.4 GHz, 5Ghz
Ambiente de trabajo	-5 ºC a +45ºC
Humedad ambiental	10% RH a 90% RH
Consumo de potencia	menor a 12W
Puertos LAN	4
Puertos GE	4
Puerto RJ11	2

Tabla 4- 10. Indicadores de acceso a red Wireless y detalles de equipo. (YCICT CO, LIMITED, f.s)

4.2. Recomendación equipos activos para red FTTH-GPON diseñada

Para la provisión del servicio de telefonía e internet una vez que se tiene la red ODN desde la OLT hasta la roseta óptica, es necesario la instalación del equipo final. Una ONT generalmente posee puertos de telefonía tradicional, puertos ethernet para internet a través de cable, puertos ethernet para IPTV y la interfaz para wifi.

Para proveer el servicio de telefonía se lo realiza a través de la ONT a través de los puertos RJ11[11], a diferencia con la tecnología de cobre, que se lo realiza con la acometida de cobre.

Para dotar de internet con la red GPON, se lo puede realizar a través de los puertos ethernet, con cable categoría 5e o 6 y conectores RJ45[12]. También se puede dotar de internet de manera inalámbrica mediante la interfaz Wifi, según los estándares mencionados anteriormente.

Para una buena conexión de internet dentro de un domicilio a través del wifi es necesario colocar el equipo en un lugar central, evitando colocar el equipo en lugares que obstaculicen la señal inalámbrica y de esta manera optimizar la conexión. Si es el caso de una vivienda de dos pisos o más, es necesario colocar repetidores de señal, y la conexión a través de las interfaces ethernet, para lo cual debe existir ductos internos. Al tener cierta cantidad de puertos ethernet, la ONT puede dar servicios limitados.

Se analizó las características más importantes de tres fabricantes de equipos activos de cliente final con tecnología GPON, de los fabricantes Huawei, Fiberhome y ZTE. En base a ello se consideró que, para la localidad de Loreto de acuerdo al análisis de las características de los tres fabricantes, se concluye que todos los equipos son aptos para utilizar en un despliegue masivo de redes GPON, pero para nuestro caso de estudio la ONT del fabricante Huawei, es la que mejor se adapta, esto es el modelo HG8245H, ya que al ser del mismo fabricante de la OLT se garantiza una compatibilidad total, una alta integracion, mayor facilidad de adaptacion, calidad de servicio, con ello se facilita las actualizaciones automaticas del equipo, a diferencia de los otros fabricantes en cuyo caso las actualizaciones de los equipos se deben realizar manualmente, ocacionando que el servicio se vea afectado debido a problemas de autenticación, alcance deficiente de la red inalambrica, En la figura

[11] RJ11. Conector más utilizado en líneas telefónicas, Con un número de 6 pines de conector, generalmente se utilizan dos de las seis pines . (Focc Technology Co., Ltd, 2019).
[12] RJ45. Conector de par trenzado utilizado para redes Ethernet. (Focc Technology Co., Ltd, 2019).

4-1 se indica el ingreso al equipo a través del navegador web, con la dirección IP 192.168.1.1, a traves del cual se puede realizar la configuración del equipo.



Figura 4- 1. Ingreso a configuración de equipo HG8245H. (Pardo, 2020)

En la figura 4-2, en la pestaña Status, se puede observar la información óptica de una red GPON con la ONT huawei HG245H, como es la potencia óptica de transmisión, potencia óptica de recepción, con sus valores actuales y valores referenciales, entre otras. Una vez que se ingresa dentro de la configuración del equipo existen mas opciones de configuración, por ejemplo la configuración del internet y de telefonía a través de las VLAN[13] 20 y 10 respectivamente, como se detalla en la figura 4-3.

Otra de las caracteristicas que se puede encontrar al ingresar a la configuración del equipo, se puede ver en la pestaña de security; en la cual se tiene la opción de bloquear la navegación de cualquier dispositivo a través de la direccion MAC del mismo.

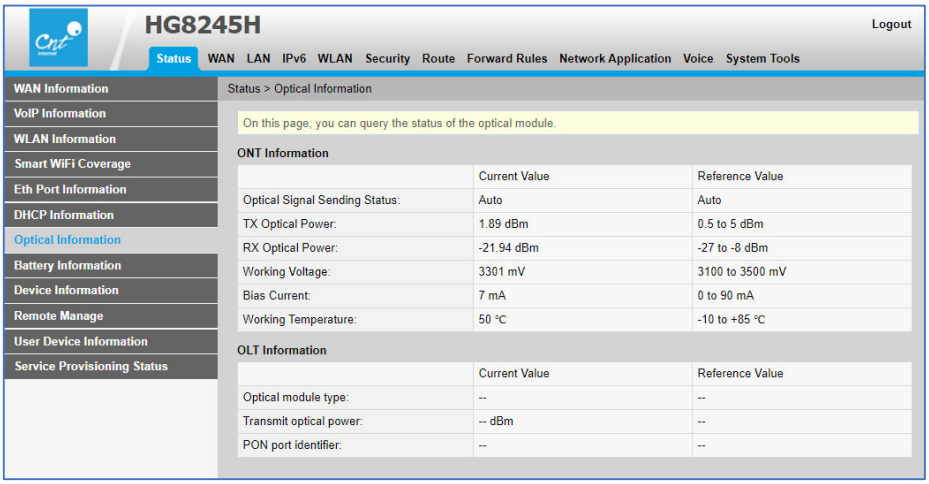


Figura 4- 2. Información óptica del equipo instalado en un cliente. (Pardo, 2020)

[13] VLAN. Virtual Local Área Network. Tecnología para crear redes lógicas independientes dentro de una misma red física. (Infotecs, 2020)

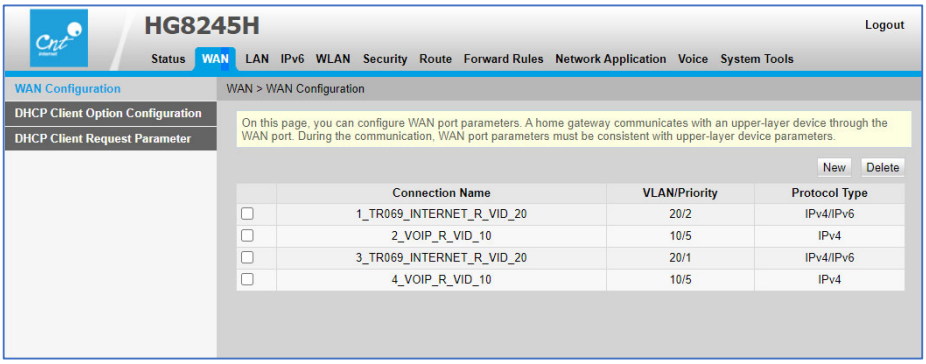


Figura 4- 3. Configuración de VLAN 20 para internet, VLAN 10 para telefonía (Pardo, 2020)

En el anexo C, se indican los datasheet de los equipos activos

Capítulo 5. VERIFICACIÓN DEL PRESUPUESTO ÓPTICO DE LA RED GPON

En la presente sección se realizará el cálculo del presupuesto referencial del presente caso de estudio, teniendo en cuenta la infraestructura activa y pasiva. Así también se verificará si el proyecto es rentable en el tiempo, de acuerdo a la inversion inicial del mismo. Se realizará el cálculo de presupuesto óptico de la red GPON diseñada para varios escenarios y finalmente se realizará mediciones reales de una ODN implementada con doble nivel de spliteo, con el OTDR EXFO, a través de la realizacion de pruebas reflectometricas, y pruebas de potencia, utilizando el equipo de medicion OTDR, y la herramienta iOLM.

5.1. Presupuesto referencial y volúmenes de obra

Para el desarrollo del proyecto, es muy importante conocer el presupuesto total, ya que de ello depende el funcionamiento de la empresa, así como también el crecimiento de la misma para futuras inversiones. En el presente capítulo se abordará el presupuesto referencial del presente caso de estudio y en base a ello determinar la rentabilidad o no del proyecto para la empresa CNT EP, en el caso de llegar a desplegar una red GPON y determinar una valoración de los costos de inversión y los posibles gastos del proyecto, de manera que se asignen todos los recursos necesarios en la implementación de la red.

Con dicho análisis también se podrá determinar los beneficios para la empresa, considerando el mejoramiento de los servicios en el sector.

Para la determinación del presupuesto referencial se considera los siguientes elementos:

- Presupuesto total de la red feeder
- Presupuesto total de la red de distribución
- Presupuesto total de canalización
- Presupuesto de red de dispersión
- Presupuesto total de equipamiento activo

Se determinarán los parámetros VAN y TIR, y a través de ello se podrá evaluar la rentabilidad del presente proyecto a nivel de la inversión(Referirse al anexo D), en la plantilla de volúmenes de obra de la red de planta externa, teniendo en cuenta que dichos rubros se determinaron en base al análisis de precios unitarios APU[14] (costos directos más

[14] APU. Consiste en desglosar el costo por unidad de medida de cada rubro, identificando los rendimientos, costos y cantidades de cada uno de los insumos o materiales a utilizarse, y así determinar costos en los

costos indirectos) vigentes de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP. En la tabla 5-1 se indica los costos de inversión para implementar una red GPON en la ciudad de Loreto hasta el abonado final.

ELEMENTO	VALOR SIN IVA
Red feeder	$ 7,895.08
Red de distribución	$ 125,271.11
Canalización	$ 7,835.34
Red de dispersión (896 clientes)	$ 131,658.24
896 ONT	$ 44,800.00
Planta interna incluye OLT con tres tarjetas de servicios y la configuración	$ 10,000.00
Costo total de implementar el proyecto con llave en mano[15]	**$ 327,459.77**

Tabla 5- 1. Inversión total del proyecto. (Pardo, 2020)

Se debe tener en cuenta que la Corporación Nacional de Telecomunicaciones al ser una empresa pública está exenta de gastos por uso de postes, y al ser una empresa nacional ya se cuenta con permisos de funcionamiento para poder brindar servicios de telecomunicaciones, ante el ente regulador de las telecomunicaciones en el Ecuador, es decir la ARCOTEL.

Los ingresos del proyecto fueron considerados de acuerdo a las tablas 2-2 y 2-4, para clientes residenciales,con un servicio de internet fijo de 20Mbps y línea telefonía básica, de acuerdo a la demanda levantada. Como egresos se considera el pago de planilla de luz debido a los equipos activos, así como también el costo de personal de mantenimiento de la red.

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INVERSIÓN	**$ 327,459.77**	0	0	0	0	0
EGRESOS	$ -	$ 34,600.00	$ 34,600.00	$ 34,600.00	$ 34,600.00	$ 34,600.00
INGRESOS	$ -	$ 234,511.20	$ 246,758.40	$ 272,160.00	$ 298,015.20	$ 323,416.80
RESULTADO	$ -	$ 199,911.20	$ 212,158.40	$ 237 ,560.00	$ 263,415.20	$ 288,816.80

Tabla 5- 2. Cálculo del valor actual neto. (Pardo, 2020)

Aplicando la ecuación 1.1, se obtiene:

$$VAN=\frac{199,911.20}{(1+0.14)1}+\frac{212,158.40}{(1+0.14)2}+\frac{237,560.0}{(1+0.14)3}+\frac{263,415.2}{(1+0.14)4}+\frac{288,816.80}{(1+0.14)5}\ -327,459.77$$

diferentes componentes del rubro como es materiales, mano de obra, equipos, y costos indirectos. (Calero, 2015)

[15] Llave en mano. Contrato en el que un cliente, contratante o entidad estatal, a cambio de un precio cerrado contrata a otra empresa para que se encargue de la totalidad o de la mayoría del proceso de construcción y poner en funcionamiento un proyecto. (Proalt, 2020)

VAN=$175,360.701+$93,051.929+$69,461.988+$57,766.491+$50,669.614- $327,459.77
VAN= $118,850.953, por lo tanto, el proyecto es rentable, ya que el valor es mayor a 0

AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
$ **-327,459.77**	$ 199,911.20	$ 212,158.40	$ 237 ,560.00	$ 263,415.20	$ 288,816.80

Tabla 5- 3. Flujo de caja. (Pardo, 2020)

Para el cálculo del TIR, se lo realiza con los valores de la tabla 5.3, con lo que se obtiene lo siguiente:

TIR=61%, igualando a 0 la tasa de descuento, se calcula el TIR, por lo que se concluye que la industria de telecomunicaciones es muy rentable. Una tasa mayor al 61% significa que el proyecto no sería rentable. En la tabla 5-4 se indica los valores obtenidos para el presente caso de estudio del cálculo de VAN y TIR.

ELEMENTO	VALOR
INVERSIÓN	$ **327,459.77**
TD	14%
BNA(VAN+INVERSION)	$ 446,310.723
VAN	$ 118,850.953
TIR	61%

Tabla 5- 4. Resumen VAN y TIR. (Pardo, 2020)

5.2. Cálculo del presupuesto óptico de la red GPON y comparación con la medición de una red GPON real, a través del iOLM del equipo OTDR de EXFO

Para el diseño de la red GPON para la localidad de Loreto, detallado en el anexo B, realizado en base al modelo de red rígida según la figura 1-12, se puede determinar la longitud de las NAP con relación a la OLT, y con ello determinar la atenuación de la red. Para el cálculo de atenuación en el presente caso de estudio se tomó en cuenta el peor de los escenarios, es decir el cajetín más alejado con respecto a la OLT por cada una de las mangas troncales, así como también considerando todos los elementos pasivos de la red que intervienen en el proceso de atenuación y verificar la disminución de la potencia óptica de la señal, ya que la misma es en proporción inversa con la distancia de la fibra óptica, para de esta forma determinar si la red cumple con los parámetros técnicos según lo establece las recomendaciones ITU-T G.984.

Para el cálculo de atenuaciones se utiliza la ecuación:

ATENUACIÓN= A_{cable}* L + A_{st} * C_{st}+ A_{cn}*C_{cn}+ A_{fs} * C_{fs}

Ecuación 5- 1. Cálculo de atenuación ODN. (Pardo, 2020)

Donde:

A_{cable}= Atenuación del cable de fibra óptica (dB/Km)

L= Longitud del cable de fibra óptica (Km)

A_{st}= Atenuación por splitter (dB)

C_{st}= Cantidad de splitters (unidades)

A_{cn}= Atenuación por conectores (dB)

C_{cn}= Cantidad de conectores

A_{fs}= Atenuación por fusiones (dB)

C_{fs}= cantidad de fusiones (unidades)

Aplicando la ecuación 5-1, se realiza los cálculos de atenuación, en la ventana de 1310nm, de la ODN del presente caso de estudio, para las tres áreas de distribución

Atenuación manga troncal 1:

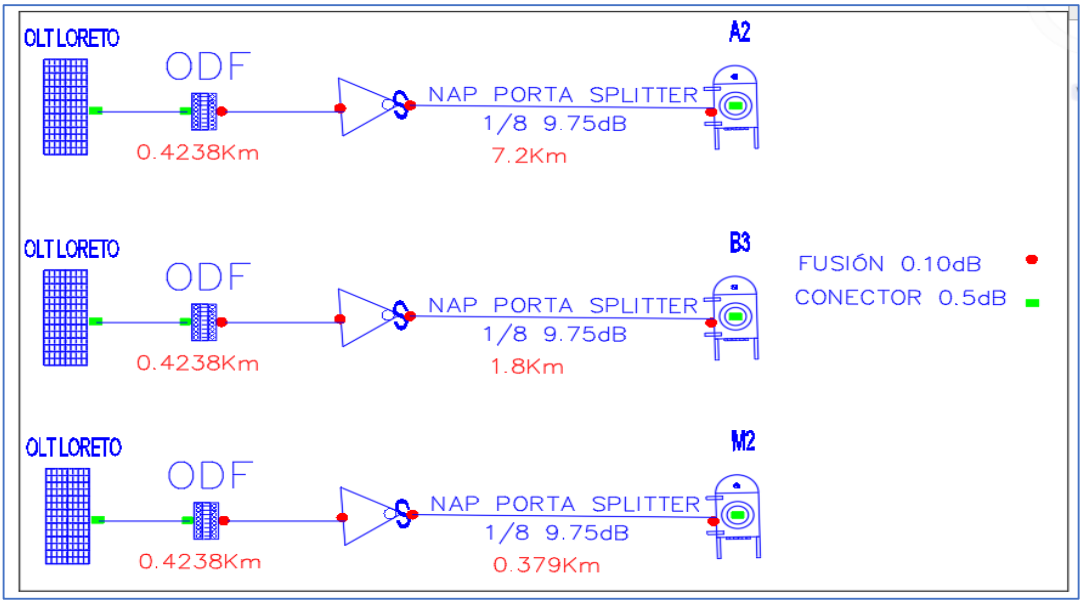


Figura 5- 1. Cálculo de atenuación MT01-Loreto. (Pardo, 2020)

Atenuación A2 = 0.35dB*7.6Km + 9.75dB*2 + 0.50dB*3 + 0.10*4 = 24.06dB

Atenuación B3 = 0.35dB*2.2Km + 9.75dB*2 + 0.50dB*3 + 0.10*4 = 22.17dB

Atenuación M2 = 0.35dB*0.8Km + 9.75dB*2 + 0.50dB*3 + 0.10*4 = 21.68dB

Atenuación manga troncal 2:

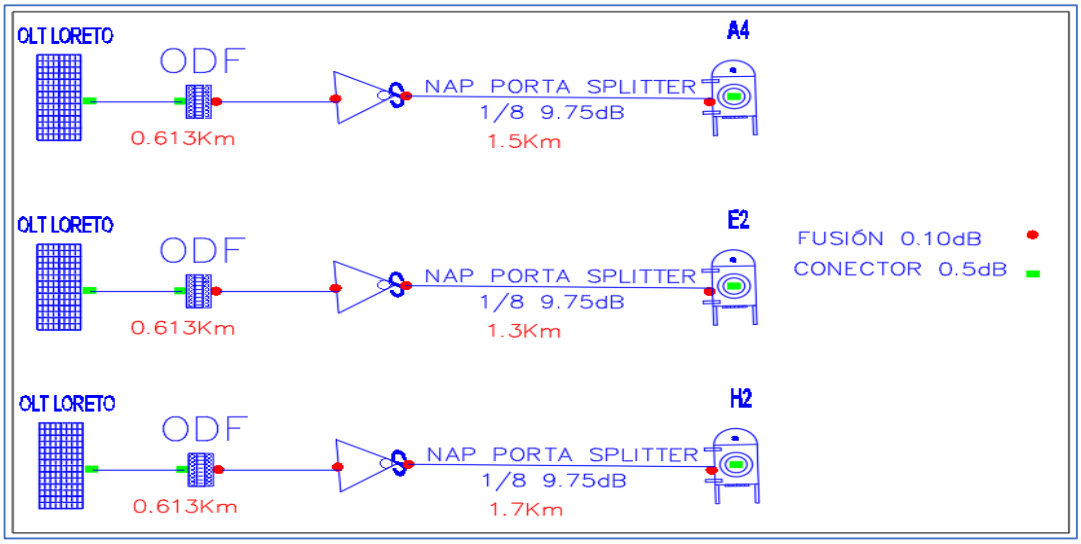


Figura 5- 2. Cálculo de atenuación MT02-Loreto. (Pardo, 2020)

Atenuación A4 = 0.35dB*2.1Km + 9.75dB*2 + 0.50dB*3 + 0.10*4 = 22.14dB

Atenuación E2 = 0.35dB*1.9Km + 9.75dB*2 + 0.50dB*3 + 0.10*4 = 22.07dB

Atenuación H2 = 0.35dB*2.3Km + 9.75dB*2 + 0.50dB*3 + 0.10*4 = 22.21dB

Atenuación manga troncal 3:

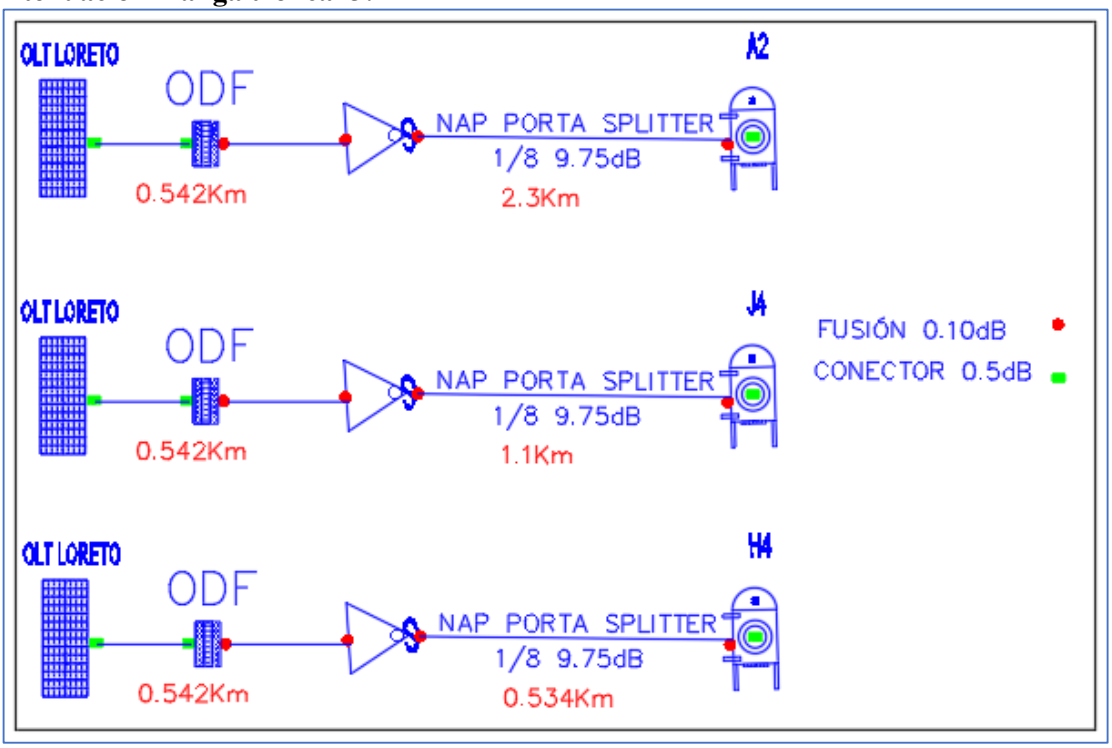


Figura 5- 3. Cálculo de atenuación MT03-Loreto. (Pardo, 2020)

Atenuación A2 = 0.35dB*2.8Km + 9.75dB*2 + 0.50dB*3 + 0.10*4 = 22.38dB

Atenuación J4 = 0.35dB*1.6Km + 9.75dB*2 + 0.50dB*3 + 0.10*4 = 21.96dB

Atenuación H4 = 0.35dB*1.1Km + 9.75dB*2 + 0.50dB*3 + 0.10*4 = 21.79dB

La ODN, según lo detallado en los capítulos anteriores, trabaja en clase B+, siendo su rango de operación entre -13dB a -28dB de pérdidas. En base a los cálculos de atenuación obtenidos para cada manga troncal debidos a la longitud de la fibra óptica, conectores, empalmes, y los splitters se verificó una pérdida de inserción mínima de -21.68dB y máxima de -24.06dB, con lo que se determina que están dentro del rango que establece el estándar GPON, con un margen de seguridad de aproximadamente 4 dB a, dicho margen contemple también las pérdidas que se producen en la acometida de cliente final ya que en la red de dispersión se tienen pérdidas de inserción por las fusiones y conectores para la conexión hacia la ONT. Se puede verificar que la mayor atenuación se produce en la manga troncal MT01, y esto evidenciado por la longitud del cable de fibra óptica.

Si se realiza el cálculo de la atenuación similar en la ventana de 1550nm para el peor de los casos, se obtiene un valor de 23.30dB (versus 24.06dB en 1310nm) y en el mejor de los casos según los cálculos anteriores se obtiene una atenuación de 21.60dB (versus 21.68dB en 1310nm), con lo que se puede determinar que en la ventana de 1550 se tiene un margen de seguridad de 4.7dB.

Una vez determinada la atenuación en ambas bandas del espectro, se realiza el cálculo de potencia según el análisis anterior para el peor y mejor de los casos en la banda de 1310nm, teniendo en cuenta las características técnicas de la ONT HG8245H, así como de la OLT Huawei, como se indica a continuación:

P_{TX_MINOLT}-A ≥ $sensibilidad_{RXMINONT}$

+1.5dBm-24.06dB≥-27dBm

-22.56dBm≥-27dBm

$P_{TX_max_OLT}$-A ≤$sensibilidad_{RX_max_ONT}$

+5dBm-21.68dB≤-8dBm

-16.68dBm ≤-8dBm

Podemos determinar que el presupuesto de potencia cumple con el estándar GPON y con ello se garantiza que los usuarios puedan engancharse a la ONT.

5.3. Mediciones de pérdidas de una ODN GPON real versus ODN GPON diseñada

Para tener un mejor enfoque de una red ODN y comparación de los resultados de atenuacion de la red diseñada en el presente caso de estudio, se realiza una medición de una red GPON real desplegada sin clientes y una red GPON real ya con clientes, con las características similares a la del presente caso de estudio, es decir una red GPON con un spliteo de 1/64, y a través de la herramienta iOLM de OTDR EXFO utilizando el software fast reporter versión 3.4 para la obtención de los resultados, dicho software de procesamiento y gestión de datos es utilizado para todo tipo de pruebas como es iOLM, OTDR, ORL, IL, PMD y CD. A través del equipo OTDR se pretende verificar la distancia de la ODN desde la OLT hasta la NAP, así como las atenuaciones de todos los elementos pasivos que intervienen en la red incluidos conectores, fusiones y la correspondiente atenuación total; asi también el cálculo de potencia y, de esta manera caracterizar toda la ODN.

Para la realización de las pruebas de iOLM de consideró la alineación y correcta conexión del cable de fibra óptica para evitar el efecto de reflexión y atenuación en la ODN real, sobre la cual se realizó las pruebas, además se realiza la limpieza en los conectores para evitar el daño en los mismos, y también evitar medidas incorrectas Las pruebas realizadas en la red GPON desplegada, se las hizo en tiempo real de tal manera que el iOLM realice el análisis de toda la información existente en la ODN, y finalmente a través del software fast reporter versión 3.4 se puede ver y analizar las trazas de OTDR obtenidas de las pruebas realizadas, así como también las pruebas de iOLM.

Como se había analizado en el marco teórico, un OTDR envía pulsos cortos de luz a una fibra óptica. En la fibra óptica se produce dispersión de la luz debido a los conectores, fusiones, curvaturas del cable y fallos. El equipo detecta y caracteriza las señales de retrodispersión. Dicha intensidad de la señal se mide para intervalos de tiempo concretos y con ello se posibilita caracterizar eventos.

Cabe indicar que para el cálculo de las medidas con el OTDR un parámetro fundamental que se considero es el IOR[16], que para nuestro caso se utilizó el valor de 1.47. Así también se configuró los umbrales en el equipo de los elementos pasivos como los splitters 1/8, conectores, RBS[17], que se obtiene del fabricante del cable de fibra óptica.

[16] IOR. Índice de refracción. Proporcionado por el fabricante del cable de fibra óptica. (EXFO, 2020)

[17] RBS. El coeficiente de retrodispersión de Rayleigh. Representa la cantidad de retrodispersión en una fibra determinada (EXFO, 2020)

En base a lo anteriormente indicado se presentan a continuación las pruebas realizadas en campo de una red GPON desplegada aun sin usuarios, es decir una red GPON por entrar a operar.



Cable ID	Fiber ID
2426.FT01_MT01	A2_2

Resultados de iOLM

Longitud de tramo: 4.121,9 m
Estado de adquisición: Finalizada

Longitud de onda (nm)	Pérdida de tramo (dB)	ORL de tramo (dB)
1310	21,558	52,60
1550	20,716	50,63

Vista de tramo

Gráfico OTDR

EXFO Firma: _____ Fecha: 11-12-2020 Página 1 de 2

Informe de iOLM Correcto

Tabla de elementos

Tipo		N.º	Pos./L. (m)	Pérdida (dB) 1310 nm	Pérdida (dB) 1550 nm	Refl. (dB) 1310 nm	Refl. (dB) 1550 nm	At. (dB/km) 1310 nm	At. (dB/km) 1550 nm	Pérdida acumul (dB) 1310 nm	Pérdida acumul (dB) 1550 nm
Conector	A	1	0,0	0,405	0,268	-58,2	-57,6			0,405	0,268
Sección			20,3	---	---			---	---	0,405	0,268
Divisor 1:8		2	20,3	10,191	10,035	-64,1	-52,8			10,596	10,303
Sección			2.054,8	0,651	0,351			0,318	0,171	11,247	10,655
Divisor 1:8		3	2.075,1	9,640	9,693	---	---			20,887	20,347
Sección			2.046,8	0,672	0,368			0,327	0,180	21,559	20,716
Conector	B	4	4.121,9	---	---	-56,7	-56,3			---	---

• Para caracterizar la pérdida e incluir el elemento en ORL y pérdida de tramo, se necesita una fibra de recepción.

Figura 5- 4. Prueba reflectométrica de una ODN real. (Pardo, 2020)

Como se puede ver en la figura 5-4, existe una atenuación total de la ODN desde la OLT hasta la NAP en la ventana de 1310nm de 21.558dB, y de 20.716dB en la ventana de 1550nm, dicha cálculo según se observa en la imagen se obtiene según la tabla 5-5:

ventana(nm)	**1310nm**	**1550nm**
conector(dB)	0.405	0.268
divisor óptico 1/8 (dB)	10.191	10.035
fusión + conector (dB)	0.651	0.351
divisor óptico 1/8 (dB)	9.64	9.693
fusión +conector (dB)	0.672	0.368
Atenuación total (dB)	**21.559**	**20.715**

Tabla 5- 5. Atenuación de elementos pasivos de una ODN real obtenida con OTDR EXFO. (Pardo, 2020)

En la tabla 5-5 se puede verificar que la atenuación de los splitter 1/8 según las mediciones con el OTDR EXFO de una ODN real, están entre 9.64 dB y 10.19 dB , en la ventana de 1310nm, mientras que en la ventana de 1550nm los valores difieren ligeramente, según se muestra en la tabla 5-5.

También se realizó las medidas de potencia de la ODN, según se muestra en la figura 5-5, en la que se observa que dichos valores están dentro del rango que estipula la ITU-T clase B+.

Resultados OPM

ID fibra	Longitud de onda (nm)	Medición (dBm)
2426.FT01_MT01_A2_1	1310	-15,37
2426.FT01_MT01_A2_2	1310	-15,49
2426.FT01_MT01_A2_3	1310	-15,22
2426.FT01_MT01_A2_4	1310	-15,44
2426.FT01_MT01_A2_5	1310	-15,27
2426.FT01_MT01_A2_6	1310	-15,31
2426.FT01_MT01_A2_7	1310	-15,26
2426.FT01_MT01_A2_8	1310	-15,48

Estadísticas OPM

Longitud de onda (nm)	Media (dBm)
1310	-15,35

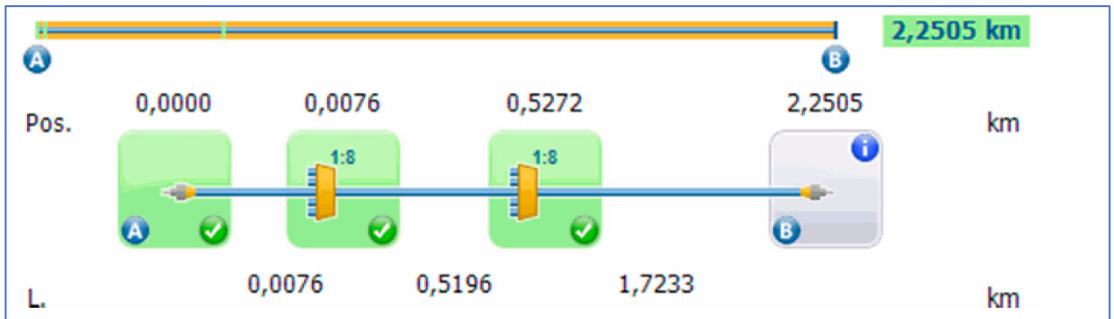
Umbrales de aprobación/error del OPM

Longitud de onda (nm)	Potencia absoluta (dBm)	
	Mín.	Máx.
1310		

Figura 5- 5. Medidas de potencia de una ODN real sin clientes, con el equipo OTDR de EXFO. (Pardo, 2020)

Dichas pruebas realizadas, son de una red que aún no está con clientes. También se realizó pruebas de OTDR con una red activa con clientes, para ello se utiliza la ventana de 1625nm, debido a que la fibra óptica ya se encuentra activa y para no interferir con las longitudes de

onda en las que opera GPON tanto para el enlace de uplink como de downlink, para ello se utiliza el puerto SM-LIVE del OTDR, obteniendo los siguientes resultados:



iOLM Table

Type	Position/ Length (km)	Loss (dB)			Reflectance (dB)			Attenuation (dB/km)		
		1625 nm			1625 nm			1625 nm		
Connector (A)	0,0000	-0,302			-57,9					
Section	0,0076	---						---		
Splitter 1:8	0,0076	10,560			-80,2					
Section	0,5196	0,118						0,227		
Splitter 1:8	0,5272	9,788			-70,0					
Section	1,7233	0,395						0,229		
Connector (B)	2,2505	---			-42,1					

Figura 5- 6. Pruebas de iOLM en una red activa. (Pardo, 2020)

En la tabla anterior se puede verificar que es una red con doble spliteo, con una atenuación total de 20.56dB, y potencia de -17.494dBm según las pruebas realizadas en campo, por ende, se concluye que dicha red cumple la normativa de la ITU-T., como se muestra en la figura 5-7.

iOLM Results

Wavelength (nm)	Link loss (dB)	Link ORL (dB)	Propagation delay (µs)
1625	20,560	56,31	11,026

Power Meter Results

Wavelength (nm)	Power (dBm)
1490	-17,494 dBm

Figura 5- 7. Prueba de atenuación(dB) y potencia(dBm) en una red GPON activa con OTDR. (Pardo, 2020)

En el anexo E se puede verificar los archivos de las pruebas realizadas con el OTDR EXFO para una red GPON real desplegada por la CNT EP.

Se puede concluir que la atenuación y potencia de una ODN diseñada tiende ha ser mayor que el de una ODN real deplegada. Según los cálculos que se obtuvo en la seccion 5.2 de la red GPON diseñada, con los cálculos obtenidos de las mediciones realizadas en campo de una ODN real en la sección 5.3, los valores reales son siempre menores a los cálculos obtenidos matemáticamente.

Capítulo 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Concluyo que la determinación de demanda de posibles clientes potenciales en cualquier sector, es fundamental para la realización de un diseño de una ODN, ya que de ello dependerá el crecimiento de la empresa y su vigencia en el tiempo.
- Puedo concluir que las normativas desarrolladas por la CNT EP para la realización de diseños de redes GPON, pueden ser aplicadas por diferentes operadores de telecomunicaciones para generación de proyectos de fibra óptica en diferentes localidades de nuestro país.
- Puedo concluir que los diferentes fabricantes de equipos activos de cliente final estudiados en el presente caso de estudio pueden ser usados para la migración de los clientes con tecnologia de cobre hacia la nueva tecnologia GPON, asi como también para atender nueva demanda, ya que trabajan en clase B+, y cumplen con las recomendaciones G.984x.
- Se realizó cálculo de atenuaciones desde la OLT hasta la NAP, para un rango de operación de la ODN clase B+ de -13dB hasta -28dB, obteniendo atenuaciones mínimas de 21.68dB y máxima de 24.06dB, con un margen de seguridad de aproximadamente de 6dB y 4dB respectivamente, con un tasa de divisón de la ODN de 1/64, alcanzada con dos niveles de spliteo de 1/8, por lo tanto se concluye que cumplen con las recomendaciones de la ITU para el estándar GPON.
- Se puede concluir que el despliegue de una red GPON es muy rentable, recuperando la totalidad de la inversión realizada en el segundo año.
- Se realizó pruebas en una red GPON real desplegada, con el OTDR EXFO con la herramienta iOLM, y a través del software fast reporter 3.4 se obtiene los resultados, con lo que se puede concluir que los divisores ópticos son los que causan mayor atenuación en una ODN, así como también se evidencia que las pruebas de potencia realizadas cumplen la normativa de la ITU-T clase B+.
- Se concluye que para la realización de pruebas de OTDR en una ODN activa real con clientes se debe usar la ventana de 1625nm, y para una ODN aun no puesta en funcionamiento o sin clientes se lo realiza en las ventanas de 1310nm y 1550nm.

- Se concluye que el equipo OTDR del fabricante EXFO, es una herramienta imprescindible para caracterizar una ODN y según se pudo determinar permite obtener valores de atenuación, potencia, verificar el estado de una red de fibra, etc.
- Concluyo que con el caso de estudio desarrollado en el presente documento se puede realizar un artículo cientifico.

6.2. Recomendaciones

- Se sugiere, que se la CNT EP, realice el levantamiento de demanda de posibles clientes, en sectores más alejados del pais, ya que debido a la pandemia que está asotando a todo el mundo es necesario contar con redes desplegadas que brinden servicios con alta capacidad de ancho de banda para los usuarios, tanto en grandes ciudades como en sectores rurales.
- Al existir un mercado de clientes, existe también varios proveedores de servicio, y el sector de las telecomnicaciones no está excento de ello, como se analizó en las secciones del presente caso de estudio en la localidad de Loreto, existen más empresas que brindan servicios de telefonia e internet; dicha competencia ayuda a mejorar la calidad de servicio, pero también puede ocacionar que las empresas corran el riesgo de desaparecer, por ello es inminente que se realice el cambio de tecnologia a fibra óptica en el sector por parte de CNT EP, en base a ello se recomienda desplegar una ODN en el sector lo más pronto posible, y de esta manera los clientes que la CNT EP actualmente mantiene con tecnologia de cobre, no se cambien a otras operadoras del sector, ocacionando pérdidas para la empresa.
- Se sugiere coordinar con la CNEL y GAD municipales, previo a un despliegue de una ODN, para evitar cambios de rutas, debido a reubicación de los postes que a menudo se realizan por parte de CNEL o por trabajos realizados por los municipios de cada localidad, y aquello afecte la inversión del proyecto.
- Se recomienda utilizar en una ODN equipos activos de un mismo fabricante, en la OLT y ONTs.
- Se sugiere que el equipo OTDR cuente con la herramienta iOLM, ya que existen en el mercado variedad de fabricantes y modelos, pero para caracterizar una ODN es imprescindible contar con el iOLM, caso contrario se corre el riesgo de realizar una alta

inversión en dicho equipo y que el mismo no tenga la herramienta, con lo que no se pueda caracterizar correctamente una ODN.

- Se sugiere que para caracterizar una ODN, se utilice el iOLM del OTDR, y que se lo haga aún sin clientes (ventanas 1310nm y 1550nm) y con ello determinar el presupuesto óptico real de la red.
- Puedo recomendar que en las universidades de nuestro pais se enfoque la enseñanza a la realización de proyectos reales, de manera que el estudiante desde su formación académica pueda emprender en sus propios proyectos y generar fuentes de trabajo, de manera que al culminar sus estudios esté ya en la capacidad de poner en marcha sus proyectos universitarios como medio de sustento y no en busca de trabajo como generalmente sucede en nuestro país, y asi fomentar el emprendimiento.
- Se sugiere generar un artículo de carácter científico aplicado al presente caso de estudio.

7. Bibliografía

Agila, R. (2 de agosto de 2019). *DISEÑO DE UNA RED GPON PARA EL BARRIO "EL PARAÍSO DE JIPIRO" DEL CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA, USANDO UN ARMARIO F01S300.* Obtenido de http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/13206/1/T-UCSG-POS-MTEL-142.pdf

ANVIMUR. (s.f de s.f). *Splitter 1:8 Conector SC/APC*. Obtenido de https://www.anvimur.com/es/material-fibra-optica/372-splitter-18-conector-scapc.html

ARCOTEL. (noviembre de 2018). *Cuentas y usuarios del servicio de acceso a internet*. Obtenido de www.arcotel.gob.ec

AristaSur. (20 de febrero de 2014). *Sistema de Coordenadas Geográficas: UTM*. Obtenido de https://www.aristasur.com/contenido/sistema-de-coordenadas-geograficas-utm

Calero, R. (2015). *COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS A.P.U. Y COSTEO ABC PARA EL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS EN LA CNSTRUCCIÓN.* Obtenido de http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/9718/COMPARACI%C3%93N%20DE%20LOS%20M%C3%89TODOS%20A.P.U.%20Y%20COSTEO%20ABC%20PARA%20EL%20AN%C3%81LISIS%20DE%20PRECIOS%20UNITARIOS%20EN%20LA%20CONSTRUCCI%C3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20

Camino, A. (24 de septiembre de 2018). *Análisis evolutivo de las redes de acceso de fibra óptica GPON - XGPON.* Obtenido de http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/11147

CISCO. (2018). Obtenido de https://davidellis.ca/wp-content/uploads/2019/05/cisco-vni-feb2019.pdf

CNT EP. (14 de Julio de 2016). *Normativa Tècnica de Diseño de Planta Externa con fibra óptica.* Quito.

CNT EP. (28 de noviembre de 2020). *Clientes de telefonia fija.* Quito.

CNT EP. (28 de noviembre de 2020). *CNT EP*. Obtenido de CNT EP: https://www.cnt.com.ec/

CNT EP, Gerencia de Implementación. (26 de marzo de 2015). Norma Técnica para Dibujo de Redes de Planta Externa. *Normas Técnicas para dibujo georeferenciadas de redes de planta externa*. Quito, Pichincha, Ecuador.

COMMSCOPE. (15 de diciembre de 2020). *FDH3000.* Obtenido de https://es.commscope.com/globalassets/digizuite/134316-p360-1435690-external.pdf

Conde, L., Hernández, W., Quezada, P., & Navarra, C. (19 de junio de 2019). *GPON como aporte a la construcción de las ciudades Inteligentes GPON as a contribution to the construction of Smart Cities.* Obtenido de https://ieeexplore.ieee.org/document/8760705

EXFO. (2019). *Sonda de inspección de fibra y ConnectorMax2*. Recuperado el 20 de abril de 2020, de https://www.exfo.com/umbraco/surface/file/download/?ni=16177&cn=es-ES&pi=5349

EXFO. (Octubre de 2020). *iOLM*. Obtenido de https://www.exfo.com/umbraco/surface/file/download/?ni=16302&cn=en-US&pi=5516

Focc Technology Co., Ltd. (27 de mayo de 2019). *Diferencias entre el conector RJ45 y RJ11*. Obtenido de http://www.fibresplitter.com/news/differences-between-rj45-and-rj11-connector-24237247.html

García, J. (27 de marzo de 2019). *Configuración de servicios de usuario con QoS sobre una red GPON real.* Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/119968/Garc%c3%ada%20-%20Configuraci%c3%b3n%20de%20servicios%20de%20usuario%20con%20QoS%20sobre%20una%20red%20GPON%20real.pdf?sequence=2&isAllowed=y

García, R. (Enero de 2019). Diseño de una red telemática integral para dar servicio de voz, internet y televisión al municipio de Malpica de Bergantiños. Cataluña, España. Obtenido de http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/87765/7/rgarciapamTFG0119memoria.pdf

Gerencia de Ingeniería CNT EP. (12 de mayo de 2016). *Instructivo para configuración de la ONT HG8245 en modo triple Play (voz, video e internet) para un cliente del segmento masivo.* Quito.

Global Electric S.A. (s.f). Obtenido de https://globalelectric.com.ec/producto/

Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Loreto. (Febrero de 2015). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL.* Obtenido de https://www.loreto.gob.ec/loreto/images/RENDICION/RC-2017/PDyOT-Loreto-aprobado-actualizado-enero-2018.pdf

Hadziabdic, H., Pasic, A. S., Hrustanovic, A., Abaz, E., Karamehmedovic, E., & Skaljic, E. (2 de septiembre de 2019). *IEEE.* Obtenido de IEEE: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8933738

Hammes, M. (09 de julio de 2020). Obtenido de https://support.zyxel.eu/hc/en-us/articles/360005173700-Description-of-the-optical-connectors-SC-APC-and-SC-UPC-used-in-GPON-devices

Hantoro, G., & Wibisono, G. (28 de octubre de 2018). GPON Performance Analysis for 5G Backhaul Solutions. Jeju, Korea. Obtenido de https://ieeexplore.ieee.org/document/8650520

Huawei. (s.f.). *Huawei ONT Products Datasheet.* Obtenido de https://www.router-switch.com/media/upload/product-pdf/huawei-ont-product-datatsheet.pdf

Huawei Technologies CO., LTD. (20 de mayo de 2013). *HG8245H GPON ONT User Manual HG8245H Product Description Huawei Technologies.* Obtenido de Huawei Technologies GPON ONT: https://fccid.io/QISHG8245H/User-Manual/Product-manual-1979642

Huawei Technologies CO., LTD. (20 de enero de 2017). *SmartAX MA5600T/MA5603T/MA5608T Multiservice Access Module.* Obtenido de SmartAX MA5600T/MA5603T/MA5608T Multiservice Access Module: http://mtk.com.ua/files/eCatalog/Huawei/SmartAX%20MA5600T/MA5600T&MA5603T&MA5608T%20Hardware%20Description%2020.pdf

INEC. (2017). *Sistema Nacional de Información*. Obtenido de https://sni.gob.ec/proyecciones-y-estudios-demograficos

Infotecs. (f.s de abril de 2020). *VLAN*. Obtenido de https://infotecs.mx/blog/vlan.html

ITU, I.-T. T. (Agosto de 2019). *SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS.* Obtenido de https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-201908-I/es

Jirachariyakool, R., Sra-ium, N., & Lerkvaranyu, S. (2017). *Design and Implement of GPON-FTTH network for residential Condominium.* Ladkrabang, Thailand.

Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/319587785_Design_and_implement_of_GPON-FTTH_

Komiya, A. (14 de septiembre de 2019). *CreceNegocios*. Recuperado el 20 de abril de 2020, de https://www.crecenegocios.com/van-y-tir/

Loayza, P. (f.s de f.s de 2019). *Artículo Científico, DISEÑO DE REDES FTTH-GPON CON ENFOQUE QoS.* Obtenido de http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/2300/1/UISRAEL-EC-MASTER%20-%20TELEM-378.242-2019-016.pdf

López, E. (Agosto de 2013). Divisores ópticos(splitters) en FTTH. Cataluña, España. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/280712505_DIVISORES_OPTICOS_SPLITTERS_EN_FTTH

Lopez, J. (f.s de 2020). *CAPEX*. Obtenido de https://economipedia.com/definiciones/capex.html

Lozano, C. (23 de abril de 2018). *Caja terminal de fibra óptica tipo NAP de 8,16 y 24 puertos.* Obtenido de Cable Servicios S.A: https://cableservicios.com/fibraoptica/2018/04/23/cajas-de-empalme-optico-tipo-nap-de-816-y-24-puertos/

Morales, M. (19 de marzo de 2013). *Gaussianos.* Obtenido de https://www.gaussianos.com/el-tamano-de-la-muestra-importa-pero-quizas-no-de-la-manera-que-pensamos/

Moreno, M., & Fábrega, J. (15 de enero de 2018). Estudio tecno-economico del despliegue el estandar NG-PON2 sobre infraestructura optica heredada. Cataluña, Cataluña, España. Obtenido de

http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/74205/7/jmmmTFM0118memoria.pdf

Newport. (s.f). *Fiber Optics: Fiber Preparation and Fiber Connectors.* Obtenido de https://www.newport.com/medias/sys_master/images/images/h3e/h84/8797095985182/Fiber-Preparation-Fiber-Connectors.pdf

Palacios, G., Orna, A., Basantes, J., Guallichicomin, A., Arce, J., & Gómez, M. (2016). *NORMAS DE CONSTRUCCIÓN DE PLANTA EXTERNA CON FIBRA ÓPTICA ODN.* Normativa técnica, CNT EP, Ingeniería, Quito. Recuperado el 14 de Abril de 2020

Panchi, M. (2016). DISEÑO DE UNA RED GPON PARA LA EMPRESA CINE CABLE TV. Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13176/Caso_de_Estudio_Myriam%20Panchi.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pardo, D. (2020). *ESTUDIO PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO GPON, PARA LA CIUDAD DE LORETO EN LA PROVINCIA DE ORELLANA.* Quito: PUCE.

Proalt. (f.s de 2020). *Servicios de llave en mano*. Obtenido de https://www.proalt.es/llave-en-mano/#:~:text=Podr%C3%ADamos%20definir%20llave%20en%20mano,obra%20o%20proyecto%20de%20obra.

PROMAX. (10 de diciembre de 2019). Obtenido de https://www.promax.es/esp/noticias/582/que-es-un-otdr-y-como-interpretar-sus-mediciones/

Salvatierra, J. (10 de marzo de 2017). *Diseño y cuantificación para el despliegue de una red de planta externa mediante la tecnología GPON-FTTH para brindar servicios*

Triple Play en la ciudadela Huancavilca Norte. Recuperado el 18 de abril de 2020, de Universidad Santiago de Guayaquil: http://192.188.52.94/bitstream/3317/7396/1/T-UCSG-POS-MTEL-65.pdf

Santamaria, A., Villacis, P., Basantes Jeams, G. A., Arce, J. L., Gómez, M., Robalino, L., & Zapata, B. (14 de agosto de 2017). NORMATIVA TÉCNICA DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE REDES DE DISTRIBUCION INTERNA GPON FTTH EN EDIFICIOS Y URBANIZACIONES. Quito, Ecuador. Recuperado el 14 de agosto de 2020

Sebastian, R. (9 de abril de 2015). Recta de regresión de Y sobre X. Recuperado el septiembre de 2020, de https://www.youtube.com/watch?v=wtjfwq1FbzA

Serrano, C. (2016). *Diseño para do dotar servicios de Telecomunicaciones con la Tecnología FTTH para la urbanización Blue Bay.* Pontificia Universidad Catolita del Ecuador, Ingeniería, Quito. Obtenido de http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11302/Paper_Caso de estudio Serrano Cristian.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Simancas, A. (30 de enero de 2019). *Dos Métodos para la Estimación de Poblaciones Futuras*. Obtenido de http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/

Straullu, S., Abrate, S., & Gaudino, R. (25 de febrero de 2015). Self-Coherent Reflective Passive Optical Networks. doi:10.5772/58999

TELPRO. (17 de marzo de 2019). *Localizador visual de fallos para fibra óptica. Los 8 mejores en el mercado*. Recuperado el 20 de abril de 2020, de https://telpromadrid.eu/localizador-visual-de-fallos/

Tenecora, I. (Enero de 2019). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍA ADSL A FIBRA ÓPTICA BAJO EL ESTÁNDAR G.984.X GPON.*

CASO DE ESTUDIO MACAS, MORONA SANTIAGO. Obtenido de http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/9443/1/20T01137.pdf

TRIPLEE. (2020). Obtenido de https://www.triplee.cl/medidor-de-potencia-fibra-optica-power-meter-ftth-6102.html

Universidad ESAN . (24 de Enero de 2017). Recuperado el 20 de Abril de 2020, de https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/el-pri-uno-de-los-indicadores-que-mas-llama-la-atencion-de-los-inversionistas/

Velasco Rivera, B. L. (14 de marzo de 2018). *Diseño y simulación de una red GPON para ofrecer el servicio de Triple Play en el sector de San Antonio de Ibarra para la CNT-EP.* Obtenido de https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19291

YCICT CO, LIMITED. (s.f de s.f de s.f). *Fiberhome AN5506 04 F ONU*. Obtenido de Fiberhome AN5506 04 F ONU: https://www.ycict.net/es/products/fiberhome-an5506-04-f-onu/

ZTE Corporation. (s.f de s.f). *ZTE ZXHN F660 V8.0 FTTH*. Obtenido de https://www.ycict.net/es/products/zte-zxhn-f660-v8-0-ftth/

8. Anexos

Anexo A.

Normativa de diseño de CNT EP

(En formato digital)

Anexo B.

Diseño red GPON

(En formato digital)

Anexo C. Datasheet equipos activos

(En formato digital)

Anexo D. Volúmenes de obra

(En formato digital)

Anexo E. Pruebas OTDR iOLM

(En formato digital)