



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Diseño e Implementación de una Red de Acceso FTTH mediante la Tecnología GPON

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERO EN REDES

PRESENTA

DANIEL ALEJANDRO GALARZA BUENFIL

DIRECTOR DE TESIS

HOMERO TORAL CRUZ

ASESORES

FREDDY IGNACIO CHAN PUC

ISMAEL OSUNA GALÁN

JULIO CESAR RAMÍREZ PACHECO

JOSÉ ANTONIO LEÓN BORGES



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, MARZO DE 2023.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

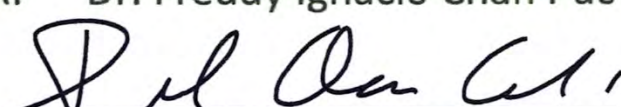
TESIS ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE
TESIS DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADA
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

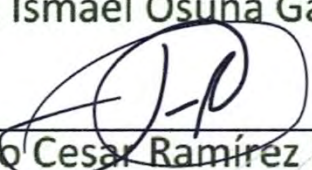
INGENIERÍA EN REDES

COMITÉ DE TESIS


DIRECTOR: Dr. Homero Toral Cruz


ASESOR: Dr. Freddy Ignacio Chan Puc


ASESOR: Dr. Ismael Osuna Galán


ASESOR: Dr. Julio Cesar Ramirez Pacheco


ASESOR: Dr. José Antonio León Borges



LISTA DE ILUSTRACIONES.....	5
LISTA DE TABLAS.....	5
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	6
RESUMEN	9
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	10
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.2 OBJETIVOS.....	10
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	10
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	10
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	11
1.4 ESTRUCTURA DE LA TESIS	11
CAPÍTULO 2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	13
2.1 TECNOLOGÍA ÓPTICA.....	13
2.1.1 <i>Fibra óptica</i>	13
2.1.2 <i>Ventajas y limitaciones</i>	13
2.1.2.1 <i>Ventajas</i>	14
2.1.2.2 <i>Limitaciones</i>	14
2.1.3 <i>Técnicas de transmisión</i>	15
2.1.4 <i>Pérdidas en los sistemas ópticos</i>	15
2.1.4.1 <i>Perdidas intrínsecas</i>	16
2.1.4.2 <i>Perdidas por acoplamiento</i>	16
2.1.4.3 <i>Perdidas por factores externos</i>	16
2.1.5 <i>Equipos ópticos</i>	16
2.1.5.1 <i>Transmisores y receptores</i>	16
2.1.5.2 <i>Modulación</i>	17
2.1.5.3 <i>Amplificadores ópticos</i>	17
2.1.6 <i>Componentes ópticos de interconexión</i>	18
2.1.6.1 <i>Conexiones y empalmes</i>	18
2.1.6.2 <i>Acopladores y distribuidores</i>	19
2.1.7 <i>Mediciones en los sistemas ópticos</i>	19
2.1.7.1 <i>Medición de potencia óptica</i>	19
2.1.7.2 <i>Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR)</i>	20
2.2 REDES GPON	20
2.2.1 <i>Estándar</i>	21
2.2.2 <i>Arquitectura de transmisión y recepción</i>	22
2.2.3 <i>Componentes generales</i>	25
2.2.4 <i>Método de encapsulación</i>	26
2.2.5 <i>Encriptación</i>	26
2.3 REDES TCP/IP	27
2.3.1 <i>Modelo TCP/IP</i>	27
2.3.1.1 <i>Aplicación</i>	29
2.3.1.2 <i>Transporte</i>	29
2.3.1.3 <i>Internet</i>	30
2.3.1.4 <i>Acceso a la red</i>	30
CAPÍTULO 3. DISEÑO DE LA RED.....	32
3.1 DISEÑO A NIVEL FÍSICO	32

3.1.1 Estructura de la red GPON (ODN)	32
3.1.1.1 Balance de enlace óptico.....	32
3.1.1.2 Calculo de potencias.....	32
3.1.1.3 Equipos pasivos	36
3.1.1.1 Área de trabajo (WA).....	37
3.1.2 Distribución jerárquica de la red (CO).....	37
3.1.2.1 Equipos activos.....	37
3.1.2.2 Redundancia.....	37
3.1.2.3 Escalabilidad.....	38
3.2 DISEÑO A NIVEL LÓGICO	38
3.2.1 Acceso a la red	38
3.2.1.1 División ancho de banda por usuario	38
3.2.1.2 Seguridad.....	40
3.2.1.3 Salida a Internet (PPPoE).....	41
3.2.2 Distribución de la red	42
3.2.2.1 VLAN.....	42
3.2.2.2 Default Route	42
3.2.2.3 Arrendamiento IP (PPPoE).....	42
3.2.3 Núcleo de la red	45
3.2.3.1 Enrutamiento dinámico.....	45
3.2.3.2 Direccionamiento IPv4	47
3.2.3.3 Túneles L2TP y EOIP	47
3.2.3.4 IPSec.....	50
3.2.3.5 DHCP.....	50
CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED	51
4.1 RED DE DISTRIBUCIÓN ÓPTICA (ODN).....	51
4.1.1 Cables ópticos	54
4.1.2 Cierres de empalme	55
4.1.3 NAP	56
4.1.4 Accesorios	56
4.2 RED TCP/IP	57
4.2.1 Rack.....	57
CAPÍTULO 5. MONITOREO DE LA RED	59
5.1 PRTG.....	59
5.1.1 Tráfico de la red	59
5.1.2 Latencia.....	62
5.2 NVIEW	63
5.2.1 Fiberlenth.....	64
5.2.2 Byte rate.....	65
CAPÍTULO 6. CONCLUSIÓN	66
BIBLIOGRAFÍA	67

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN	15
ILUSTRACIÓN 2. TRANSMISIÓN DESCENDENTE	24
ILUSTRACIÓN 3. TRANSMISIÓN ASCENDENTE.....	25
ILUSTRACIÓN 4. BAND-WIDTH ODN	40
ILUSTRACIÓN 5. MODELO CLIENTE-SERVIDOR	41
ILUSTRACIÓN 6. SISTEMA DE AUTENTICACIÓN DE USUARIOS VALIDOS	43
ILUSTRACIÓN 7. FASE DESCUBRIMIENTO Y SESIÓN PPPoE	44
ILUSTRACIÓN 8. AUTENTICACIÓN CON SERVIDOR RADIUS	45
ILUSTRACIÓN 9. ENRUTAMIENTO DINÁMICO OSPF	46
ILUSTRACIÓN 10. VPN SITE-TO-SITE L2TP	49
ILUSTRACIÓN 11. DIAGRAMA UNIFILAR PUERTO PON 1.....	51
ILUSTRACIÓN 12. LAB GPON FTTH	52
ILUSTRACIÓN 13. OFICINA CENTRAL (CO).....	53
ILUSTRACIÓN 14. DIAGRAMA DE LA RED CONFORMADA	55
ILUSTRACIÓN 15. RACK CENTRAL OFFICE	57
ILUSTRACIÓN 16. TRÁFICO ISP 1 CHETUMAL	60
ILUSTRACIÓN 17. TRÁFICO ISP 2 CHETUMAL	60
ILUSTRACIÓN 18. TRÁFICO FTTH CHETUMAL	61
ILUSTRACIÓN 19. TRÁFICO ISP 1 BACALAR.....	61
ILUSTRACIÓN 20. TRÁFICO FTTH BACALAR	62
ILUSTRACIÓN 21. LATENCIA HACIA 8.8.8.8	63
ILUSTRACIÓN 22. CPU LOAD CCR 1072	63
ILUSTRACIÓN 23. FIBERLENTH.....	64
ILUSTRACIÓN 24. BYTE RATE.....	65

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. TCP/IP MODEL	28
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS OLT.....	34
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ONT.....	34
TABLA 4. PRESUPUESTO ÓPTICO DE ENLACE FTTH GPON	35
TABLA 5. PRESUPUESTO ÓPTICO DE ENLACE FTTH GPON	35
TABLA 6. ENLACE ÓPTICO OLT-TO-ONT	36
TABLA 7. ENLACE ÓPTICO ONT-TO-OLT	36
TABLA 8. DISEÑO JERÁRQUICO TELECOMUNICACIONES.....	37

LISTA DE ACRÓNIMOS

Triple Play, servicios de video, voz y datos.

HDTV, High-Definition Television.

VoIP, Voice over IP.

FTTH, Fiber To The Home.

PON, Passive Optical Network.

GPON, Gigabit-capable Passive Optical Network.

OLT, Optical Line Terminal.

ONT, Optical Network Terminal.

ONU, Optical Network Unit.

HFC, Hybrid Fiber-Copper.

CO, Central Office.

WA, Working Area.

ODN, Optical Distribution Network.

ODF, Optical Distribution Frames.

OTDR, Optical Time Domain Reflectometer.

UIT, Telecommunications International Union.

dB, Decibels.

FO, Fiber Optic.

Gbps, Gigabyte per second.

ISP, Internet Service Provider.

IP, Internet Protocol.

TCP, Transfer Control Protocol.

DBA, Dynamic Band-width Assignment.

DL, Downstream Line.

UL, Upstream Line.

WDM, Wavelength Division Multiplexing.

TDMA, Time Division Multiple Access.

OAN, Optical Access, Network.

MAC, Media Access Control.

LAN, Local Area Network.

IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers.

RFC, Request For Comments.

HTTP, Hyper-Text Transfer Protocol.

UDP, User Datagram Protocol.

L2TP, Layer 2 Tunneling Protocol.

EOIP, Ethernet over IP.

PPPoE, Point-to-Point Protocol over Ethernet.

PADI, PPPoE Active Discovery Initiation.

PADO, PPPoE Active Discovery Offer.

PADR, PPPoE Active Discovery Request.

PADS, PPPoE Active Discovery Session-confirmation.

PADT, PPPoE Active Discovery Termination.

OSPF, Open Shortest Path First.

LSR, Link State Request.

LSU, Link State Update.

LSAck, Link State Acknowledgment.

SPF, Dijkstra Shortest Path First Algorithm.

IPv4, Internet Protocol version 4.

VPN, Virtual Private Network.

VLAN, Virtual Local Area Network.

IPSec, Internet Protocol Secure.

DHCP, Dynamic Host Configuration Protocol.

LC-UPC, Lucent Connector-Ultra Physical Contact.

SC-APC, Standard Connector-Angled Physical Contact.

NAP, Network Access Point.

SSH, Secure Shell.

SNMP, Simple Network Management Protocol.

ICMP, Internet Control Message Protocol

SQL, Structured Query Language.

QoS, Quality of Service.

DNS, Domain Name Service.

RESUMEN

Con la nueva reforma en materia de telecomunicaciones, en la cual se realizaron adecuaciones jurídicas para asegurar que los mercados se desarrollen, y que la competencia se amplíe en beneficio de los consumidores; se ha considerado relevante incorporar a las pequeñas y medianas empresas a la globalización y puedan proveer múltiples servicios de telecomunicaciones (video, voz y datos) a los usuarios finales. Por otro lado, la creciente demanda de ancho de banda en las telecomunicaciones ha motivado a los proveedores de servicio que utilicen nuevas tecnologías como la fibra óptica para transmitir grandes cantidades de información, a altas velocidades y largas distancias. Una tecnología ampliamente usada para la distribución de servicios avanzados como Triple Play, HDTV (High-Definition Television), Internet, VoIP (Voice over IP), etc., es FTTH (Fiber To The Home), también conocida como fibra hasta el hogar. Las redes de acceso FTTH tienen la capacidad de utilizar sistemas PON (Passive Optical Network) de siguiente generación, tales como GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network). Un sistema GPON consiste en una Terminal de Línea Óptica (OLT - Optical Line Terminator) situado en la central de la operadora, el cual se conecta con los distintos Terminales de Red Óptica (ONT – Optical Network Terminal), ubicados en la casa de los clientes, mediante fibras ópticas y dispositivos pasivos que dividen la señal óptica (Divisores/Splitters Ópticos). Sin embargo, el diseño e implementación de redes de acceso FTTH, requiere de personal técnico especializado para garantizar que los servicios funcionen de forma satisfactoria.

En la presente tesis se realizará el diseño e implementación de una red de acceso de fibra óptica FTTH usando la tecnología GPON para proveer servicios Triple Play a los usuarios finales.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Planteamiento del problema

Actualmente los servicios de acceso a internet en las ciudades utilizan diversas tecnologías como ADSL, SDSL, Coaxial, HFC (Hybrid Fiber-Coaxial); sin embargo, dichas redes bajo estas tecnologías han llegado al grado de sobresaturarse y dejar de ser escalables. Hoy en día la demanda de recursos de Internet ha incrementado exponencialmente debido al uso de múltiples servicios multimedia, tales como: video en alta definición (High Definition Television), voz sobre el protocolo IP (VoIP), el uso de datos generalizado, etc. Lo anterior ha motivado a replantear el diseño e implementación de nuevas tecnologías que puedan cumplir con la demanda actual y futura.

Una tecnología ampliamente usada para transmitir grandes cantidades de información, a altas velocidades y largas distancias, es FTTH o fibra hasta el hogar. Las redes de acceso FTTH tienen la capacidad de utilizar sistemas PON de siguiente generación, tales como GPON. Estas tecnologías permiten implementar redes versátiles y escalables a pequeñas y grandes empresas para proveer a sus usuarios finales servicios avanzados como Triple Play.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar e implementar una red de acceso de fibra óptica FTTH, mediante la tecnología GPON para la distribución de servicios Triple Play a usuarios finales.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Calcular el balance óptico de la red GPON.
- Seleccionar los equipos activos y pasivos de la oficina central (CO), ODN y área de trabajo (WA).
- Estimar la tasa de transmisión descendente y ascendente de los usuarios.
- Definir la seguridad lógica de la red.
- Diseñar los aspectos lógicos en la capa de distribución de la red.
- Diseñar los aspectos lógicos en la capa de núcleo de la red.

- Implementar la red de acceso de fibra óptica FTTH.
- Monitorear los servicios activos y su latencia.
- Monitorear los dispositivos finales de acceso a la red.

1.3 Justificación

El presente proyecto aborda el diseño e implementación de redes de acceso FTTH a través del estándar GPON, para proveer servicios de alta velocidad a los usuarios finales; es decir, la implementación podrá satisfacer las altas necesidades de hoy en día, tales como reproducción de servicios en streaming o la televisión en alta definición (High-Definition Television), podrá proveer servicios de voz a través de redes IP mediante la tecnología VoIP, y el uso continuo de los datos, haciendo uso de diversas aplicaciones y sitios web.

Hoy en día es de suma importancia que desde la fase de diseño se consideren tecnologías de vanguardia para satisfacer las necesidades presentes y futuras. Con el estándar GPON y la tecnología FTTH se pretende garantizar el correcto desempeño de la red y que los servicios funcionen de forma satisfactoria.

1.4 Estructura de la tesis

El resto del presente proyecto de tesis se compone de los siguientes capítulos que se describen a continuación:

El **Capítulo 2**, introduce a las tecnologías físicas y lógicas usadas en el diseño e implementación de redes de acceso óptico. Aborda los conceptos fundamentales de la fibra óptica, sus ventajas y limitaciones de esta que justifican el uso de esta tecnología en la implementación del estándar GPON. Describe las técnicas de transmisión usadas en este medio físico, de igual forma se profundiza en el fenómeno de pérdidas en los sistemas ópticos que son parte fundamental para que la implementación cumpla con altos estándares y no presente inconvenientes en el futuro. Se explica acerca de los equipos ópticos, componentes de interconexión y la medición que se lleva a cabo en los sistemas ópticos. En este mismo capítulo, se desarrolla los conceptos fundamentales de las redes GPON, considerando su arquitectura, componentes generales, método de encapsulación

y encriptación. También se abordan las tecnologías lógicas y sus conceptos fundamentales.

El **Capítulo 3**, presenta el diseño de la red tomando dos ejes importantes, diseño a nivel físico y diseño a nivel lógico. En el diseño a nivel físico se considera la estructura de la red GPON, tomando en cuenta el balance óptico de la red, cálculo de potencias, y selección de los equipos pasivos, considerando los equipos que habrá en el área de trabajo (WA). Por otra parte, en el diseño a nivel lógico se explica el diseño en las tres zonas de la red: zona de acceso, zona de distribución y zona del núcleo. Se estima el ancho de banda por usuario final, se definen las políticas de seguridad de la red, se define la salida a internet de los usuarios, también se explica el diseño de las VLAN y el direccionamiento IP. También, se explica cómo se trabajará en el núcleo de la red, donde se concentra la carga de trabajo lógica, es decir, enrutamiento dinámico, direccionamiento IPv4, túneles VPN, el protocolo IPSec y el direccionamiento dinámico (DHCP).

La implementación de la red se describe en el **Capítulo 4**, se realiza a escala en un laboratorio explicando todas las partes que la conforman, se dividió en dos partes principales, red de distribución óptica (ODN) y centro de datos (CO). En el centro de datos se encuentra el rack con todos los equipos operando. Finalmente, se presenta el monitoreo de la red implementada, considerando los parámetros de tráfico y latencia para evaluar el desempeño la red.

CAPÍTULO 2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

2.1 Tecnología óptica

2.1.1 Fibra óptica

Actualmente, el medio por el cual se transmiten terabytes de información, producto del tráfico que generan los servicios de internet, es un medio físico llamado fibra óptica, este medio ha potencializado los servicios de telecomunicaciones en todo el mundo.

Una fibra óptica, es un filamento muy fino de plástico o vidrio del cual la luz puede propagarse por sucesivas reflexiones en el interior de esta. Las fibras son capaces de transportar señales ópticas y energía luminosa (Grazzini, 2020).

La fibra óptica transmite internamente luz. Lo anterior fue demostrado por el filósofo John Tyndall en 1870, que a través de un medio transparente logró conducir luz por sucesivas reflexiones internas. Esto trajo consigo la idea que la luz puede seguir una trayectoria curva (Grazzini, 2020).

Los sistemas de comunicación por fibra óptica son sistemas de ondas luminosas que emplean fibras ópticas para la transmisión de información. Estos sistemas se utilizan en todo el mundo desde 1980 y han revolucionado el campo de las telecomunicaciones. De hecho, la tecnología de ondas ligeras, junto con la microelectrónica, propició el advenimiento de la “era de la información” en los años 90 (Agrawal, 2010).

2.1.2 Ventajas y limitaciones

La fibra óptica ha contribuido al avance de las telecomunicaciones, es un medio de transmisión con amplio ancho de banda, alta tasa de transmisión, y nula interferencia con el ambiente.

La ventaja principal de la fibra óptica radica en su baja atenuación por kilómetro, lo que permite realizar enlaces a larga distancia sin necesidad de amplificación y/o regeneración de las señales ópticas transmitidas. Otras ventajas importantes respecto a otros medios físicos de transmisión, como el cable coaxial, son: ancho

de banda muy grande, precio bajo considerando el ancho de banda a transmitir, inmunidad a las interferencias electromagnéticas, seguridad en el transporte de información, peso y dimensiones notablemente inferiores a las de un cable metálico (Paulucci, 2013).

2.1.2.1 Ventajas

1. Gran ancho de banda: Una fibra óptica es un medio físico con alta capacidad de transmisión.
2. Bajas pérdidas: Las características de baja atenuación y dispersión de las fibras ópticas permiten lograr satisfactoriamente enlaces de hasta 50 km.
3. Tamaño reducido: El reducido diámetro de una fibra óptica hace que las mismas resulten muy apropiadas cuando el espacio utilizable para disponer un canal de comunicaciones es mínimo.
4. Peso reducido: El reducido diámetro tiene como resultado que estas no acumulen tanto peso.
5. Inmunidad a la interferencia: A diferencia de los medios de transmisión que utilizan pulsos eléctricos, la fibra óptica es inmune a la interferencia electromagnética gracias a que usan la luz.
6. Seguridad: Solo es posible interferir la señal que se propaga a través de una fibra interceptándola en forma individual, lo que normalmente es fácilmente detectable.

2.1.2.2 Limitaciones

1. Reparación compleja: Las instalaciones de cables de fibra óptica son muy sensibles al daño intencional y su reparación puede ser compleja y costosa.
2. No linealidad: Se limitan las aplicaciones analógicas.
3. Dificultades para la manipulación de las fibras: El equipamiento y las herramientas que se necesitan no son convencionales, esto a su vez requiere de personal altamente capacitado y entrenado para su manejo.

2.1.3 Técnicas de transmisión

Para ser transmitida una señal por fibra óptica, debe modular una fuente de luz tal como un diodo emisor de luz o un láser. La luz modulada se acopla a la fibra en cuyo extremo opuesto hay un detector óptico que recibe la luz modulada y recupera la señal original de entrada. La principal diferencia entre las distintas técnicas de transmisión radica en la manera como se efectúa la modulación de la luz (Grazzini, 2020).

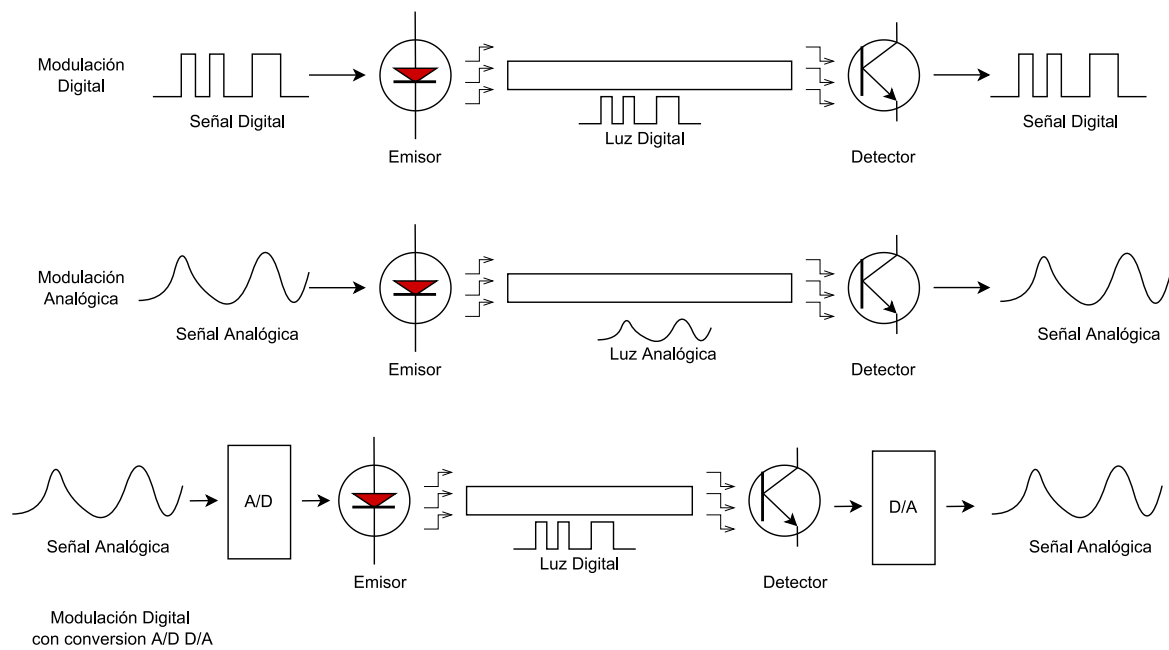


Ilustración 1. Técnicas de Transmisión

(Grazzini, 2020)

2.1.4 Pérdidas en los sistemas ópticos

La cantidad de luz que llega al extremo en un enlace de fibra óptica es generalmente menor a la potencia original emitida, esto se debe a diferentes causas, generalmente durante la trayectoria hay una disminución de su intensidad entre otras razones (Grazzini, 2020).

Las pérdidas pueden clasificarse, según las causas que la provocan. Una clasificación de las pérdidas es debido a factores externos y por motivos intrínsecos de las fibras. Entre las primeras están por un lado las que se deben a

los empalmes y conexiones entre diferentes tramos de un sistema. Una de las pérdidas por causas intrínsecas es la atenuación que se producen en el proceso de fabricación (Grazzini, 2020).

2.1.4.1 Pérdidas intrínsecas

Cuando la luz atraviesa un medio transparente como el vidrio, la perturbación ondulatoria hace que los electrones de las moléculas oscilen periódicamente en respuesta al vector campo eléctrico. Durante este proceso, parte de la energía contenida en la onda luminosa es cedida a la molécula y transformada en otro tipo de energía (Grazzini, 2020).

2.1.4.2 Pérdidas por acoplamiento

Cuando una fibra óptica se acopla a un emisor de luz, un detector de luz u otra fibra; la unión entre la fibra y la otra entidad no es perfecta, por lo que ocurre una pérdida en la frontera (Grazzini, 2020).

2.1.4.3 Pérdidas por factores externos

La curvatura en una fibra óptica es un ejemplo de pérdida, esto debido a un dobles que se efectúa en la fibra óptica, esto produce atenuación proporcional a la curvatura que se somete la misma. Desde un punto de vista práctico, esto es de fundamental importancia, porque en toda instalación siempre; la fibra debe doblarse (Grazzini, 2020).

2.1.5 Equipos ópticos

2.1.5.1 Transmisores y receptores

Los equipos o terminales ópticos son normalmente transmisores, receptores, transceptores, repetidores y módems; estos equipos son relacionados con los dispositivos electrónicos que se utilizan en los sistemas de comunicaciones por fibra óptica (Grazzini, 2020).

Un equipo transmisor para fibras ópticas consiste básicamente en un emisor y un amplificador que proporciona la corriente necesaria para la excitación del primero. La luz emitida debe modularse y, respecto de este punto, existen dos técnicas radicalmente para efectuar la modulación: modulación óptica y modulación por corriente (Grazzini, 2020).

La primera técnica es apropiada para sistemas en los cuales se emplean emisores de alta potencia y donde deben cumplirse requisitos de elevada velocidad. En cambio, la técnica de modulación por corriente es más económica y la potencia promedio de salida del emisor puede variar dependiendo la naturaleza de la señal que se emplea para modular (Grazzini, 2020).

Un receptor para fibra óptica está compuesto básicamente por un fotodetector y un amplificador que mantiene constante el nivel de salida en forma más o menos independiente de las variaciones de la señal óptica de entrada (Grazzini, 2020).

2.1.5.2 Modulación

Un código de modulación es en esencia un método para codificar los datos que van a ser transmitidos por un sistema determinado. Cada unidad digital debe estar contenida dentro de un determinado espacio de tiempo denominado “espacio de bit”, el cual está definido por un reloj. La señal de reloj es un tren de pulsos idénticos que proporcionan la sincronización básica al sistema y es fundamental que el receptor disponga de dicho sincronismo para poder recuperar la señal (Grazzini, 2020).

2.1.5.3 Amplificadores ópticos

La amplificación de una señal óptica ha sido posible a partir del desarrollo de las fibras ópticas dopadas. Un amplificador óptico consiste básicamente en un tramo de fibra dopada, al cual se le inyecta en uno de los extremos y mediante un acoplador direccional, la señal que se desea amplificar más luz proveniente de un láser de bombeo. A lo largo de la fibra se va produciendo, por el mecanismo

explicado, la emisión estimulada en la longitud de onda de la señal. Si la fibra es suficientemente larga, la luz de bombeo y el resto de las emisiones que tienen lugar en la parte del espectro que no interesa, son naturalmente atenuadas y al extremo final de la fibra solo llega la luz de señal amplificada (Grazzini, 2020).

2.1.6 Componentes ópticos de interconexión

La interconexión de los sistemas ópticos tiene un peso importante al momento del diseño de una red óptica, esto es posible gracias a los componentes de interconexión.

El tema general de la conectorización juega un rol muy importante en el comportamiento final de un sistema de transmisión por fibra óptica y por lo tanto, debe ser tenido en cuenta durante el diseño del mismo. Las fibras se conectan a las fuentes, detectores y otras fibras mediante conectores y empalmes (Grazzini, 2020).

2.1.6.1 Conexiones y empalmes

La conectorización en el campo de las fibras ópticas es bastante más complicada que en sistemas tradicionales que usan conductores de cobre, ya que requiere no solamente la unión física de las fibras, sino el perfecto alineamiento óptico de los componentes a fin de que se produzca una mínima pérdida de potencia óptica (Grazzini, H. O. 2020). Los conectores se usan principalmente en lugares donde se requiere la posibilidad de desconectar y conectar fácil y rápidamente un determinado componente o sistema, como pueden ser dos tramos de fibra en un tablero, o los extremos finales de una línea con los detectores o emisores (Grazzini, 2020).

Los empalmes pueden usarse básicamente de dos maneras distintas; por un lado, están los empalmes por fusión, en los cuales se requiere el uso de una herramienta o máquina especial que suelda las fibras mediante un arco eléctrico y,

por el otro lado, existen los empalmes mecánicos. Ambos tipos de uniones están destinados a ser permanentes (Grazzini, 2020).

2.1.6.2 Acopladores y distribuidores

Los acopladores y los distribuidores para fibras ópticas son componentes cuyo uso son importantes para el desarrollo e implementación de las redes de área local (LAN).

Los acopladores ópticos permiten, dividir la luz proveniente de una fibra óptica única y acoplarla a dos fibras separadas. También es posible combinar la información proveniente de dos fuentes distintas, para enviarla por una única fibra (Grazzini, 2020).

Los distintos tipos de acopladores que existen se distinguen entre sí por sus características. El grado de acoplamiento, las pérdidas por inserción y la direccionalidad que existe entre los distintos puertos de un acoplador se especifican por lo general en dB , la relación de acoplamiento es mediante relación porcentual (Grazzini, 2020).

Otra clase de componentes muy importantes para la implementación de sistemas ópticos, son los conmutadores/distribuidores ópticos. Estos dispositivos permiten cambiar la arquitectura de un sistema, modificando o redireccionando las señales provenientes de distintas fuentes, o fibras ópticas (Grazzini, 2020).

2.1.7 Mediciones en los sistemas ópticos

2.1.7.1 Medición de potencia óptica

En general, la potencia óptica se mide básicamente de dos maneras distintas. La primera no tiene forma de medir, no tiene en cuenta la longitud de onda de la luz emitida y en el caso de una fuente que emita varias componentes proporciona el valor de la intensidad luminosa total, siendo la unidad de medida usada el “Lux” (Grazzini, 2020).

La otra forma de medir es teniendo en cuenta la longitud de onda y normalmente permite obtener el valor de la potencia óptica que se mide en *Watts*, por separado de cada componente espectral. También es sumamente conveniente medir la potencia en fibras ópticas usando notación en decibeles, como *dBm* o *dBμW* (Grazzini, 2020).

Cuando se instala un sistema de comunicaciones con fibras ópticas o cuando se busca alguna falla, la atenuación de la luz es uno de los parámetros importante que deben medirse. Por lo general, la atenuación se evalúa midiendo la potencia de la fuente óptica antes y después del elemento que ocasiona la atenuación (Grazzini, 2020).

2.1.7.2 Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR)

Una herramienta muy poderosa para el mantenimiento e instalación de un sistema de fibras ópticas es el OTDR. Este instrumento analiza la energía óptica reflejada en una instalación de fibra óptica para establecer la existencia y localización de discontinuidades en la fibra, pérdidas en uniones y conectores y las pérdidas totales del sistema. Un operador hábil puede, con el tiempo, reconocer el lugar y el tipo de falla en un enlace, dado que la magnitud de la cantidad de energía que se refleja de vuelta hacia el generador de una fibra óptica tiene que ver con el tipo de discontinuidad que la produce (Grazzini, 2020).

2.2 Redes GPON

Los usuarios finales, quienes utilizan el servicio de última milla, están en lugares distantes a la oficina central de quien proporciona el servicio de conexión, en muchas ocasiones estos mismos usuarios están geográficamente distantes, lo que hace que la conexión a los mismos sea complicada.

El tramo que conecta al equipo del usuario en su domicilio con el resto de la infraestructura de telecomunicaciones se le conoce como red de acceso, existiendo dos tipos de conexión a nivel macro; acceso por cable, que puede ser

de cobre, fibra o la conexión híbrida, coaxial-fibra; y el acceso inalámbrico que puede ser fijo o móvil (Radicelli, Pomboza, Villacrés, & Samaniego, 2019).

Las especificaciones iniciales definidas para las redes ópticas pasivas (PON) fueron hechas por el comité de red de acceso de servicios completos (FSAN) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el cual utiliza el estándar de modo de transferencia asíncrona (ATM) como protocolo de señalización de capa 2, así como por el grupo de Ethernet en la primera milla (EFM), del Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (IEEE) (Radicelli, Pomboza, Villacrés, & Samaniego, 2019).

El estándar GPON especificado en las recomendaciones 984.x de la ITU-T es quien define la base de la red de acceso a los usuarios. El estándar GPON comprende de muchos tecnicismos, pero el más importante es el de ODN, el cual comprende la zona más importante, es decir, de oficina central (CO) de la empresa a la casa del cliente, conocida como área de trabajo (WA).

Las redes GPON han ayudado a que los usuarios puedan tener acceso a servicios Triple-Play gracias al ancho de banda que se puede manejar en el medio físico de fibra óptica. Los usuarios con redes GPON pueden predisponer de servicios de streaming de video en alta definición, servicios de voz y, no menos importante la transferencia de datos. Las redes GPON hoy en día son tan atractivas que hasta las microempresas en su localidad las quieren implementar, razón de sus bajos costos, su mantenimiento escalable y su despliegue que no es del todo complicado.

La sección óptica de un sistema de red de acceso local podría tener una arquitectura punto a punto o una arquitectura punto a multipunto pasiva (ITU-T G.983.1, 2005).

2.2.1 Estándar

Los sistemas GPON se caracterizan en general por un sistema de terminación de línea óptica (OLT) y una unidad de red óptica (ONU) o una terminación de red

óptica (ONT) con una red de distribución óptica (ODN) pasiva que los interconecta. Por lo general, existe una relación de tipo uno a muchos entre la OLT y las ONU/ONT respectivamente (ITU-T G.984.1, 2003).

GPON es la evolución de BPON, este estándar contempla especificaciones de la ITU-T desde la recomendación G.984.1 hasta la G.984.4, como se describe a continuación.

1. G984.1: características generales de una red GPON.
2. G984.2: especificaciones de parámetros de la red de distribución óptica (ODN), especificaciones de puertos ópticos a 2.488 Gbps, especificaciones de puertos ópticos a 1.244 Gbps y, la asignación de sobrecarga de la capa física.
3. G984.3: especificaciones de la capa de convergencia de transmisión (TC) de GPON, la arquitectura de multiplexación de la transmisión de convergencia de GPON (GTC) y protocolos, la trama de dicha transmisión de convergencia (GTC), el registro y activación de las terminales de red óptica (ONT), las especificaciones de la asignación dinámica de ancho de banda (DBA), y las alarmas de rendimiento.
4. G984.4: formato de mensaje para la gestión y de control de la interfaz ONT (OMCI), trama de administración de dispositivos para dicha interfaz ONT, así como su principio de funcionamiento.

GPON que permite optimizar la transmisión del tráfico IP y ATM mediante celdas de tamaño variable, utilizando transmisión simétrica (2.5 Gbps tanto DL como para UL), o asimétrica (2.5 Gbps para DL y 1.25 Gbps para UL), siendo la más utilizada esta última (Radicelli, Pomboza, Villacrés, & Samaniego, 2019).

2.2.2 Arquitectura de transmisión y recepción

En una red PON, se comparte fibra entre un conjunto de usuarios, siendo el componente principal de este tipo de redes, el divisor óptico o splitter, el cual divide el haz de luz entrante y lo distribuye hacia diferentes fibras, o en su defecto combina dichos haces de luz en dirección opuesta dentro de una fibra, actuando

de esta manera como multiplexador y demultiplexador de la señal, y permitiendo así la compartición de fibra, utilizando para esto un esquema de multiplexado por longitud de onda (WDM). Sin embargo, el uso de dichos divisores ópticos introduce pérdidas en la transmisión por lo que el alcance de una red PON, se ve limitado (Radicelli, Pomboza, Villacrés, & Samaniego, 2019).

Una red PON puede transferir la información en dos sentidos; en forma descendente (DL) en donde la transmisión se hace desde el equipo concentrador, terminal de línea óptica (OLT) hacia los equipos terminales de usuario (ONT/ONU) y, de forma ascendente (UL) en donde la transmisión se efectúa en el sentido contrario (Radicelli, Pomboza, Villacrés, & Samaniego, 2019).

Las dos direcciones de transmisión óptica en la ODN se identifican como sigue:

- Dirección descendente para las señales que viajan desde la OLT a la ONT.
- Dirección ascendente para las señales que viajan de la ONT a la OLT.

La transmisión en sentido descendente y ascendente puede tener lugar en la misma fibra y componentes (funcionamiento dúplex/dúplex) o en fibras y componentes separados (funcionamiento simplex) (ITU-T G.984.2, 2019).

En la transmisión descendente, la OLT envía tráfico a través de la ODN, utilizando difusión y multiplexación por división de tiempo, para determinar los instantes de tiempo en la transmisión de datos, esta información es comunicada a cada ONT, quien a su vez captura los datos destinados a su dirección y desecha todos los demás. Debido a que cada ONT recibe todo el tráfico, se utiliza encriptación para asegurar la privacidad (Radicelli, Pomboza, Villacrés, & Samaniego, 2019).

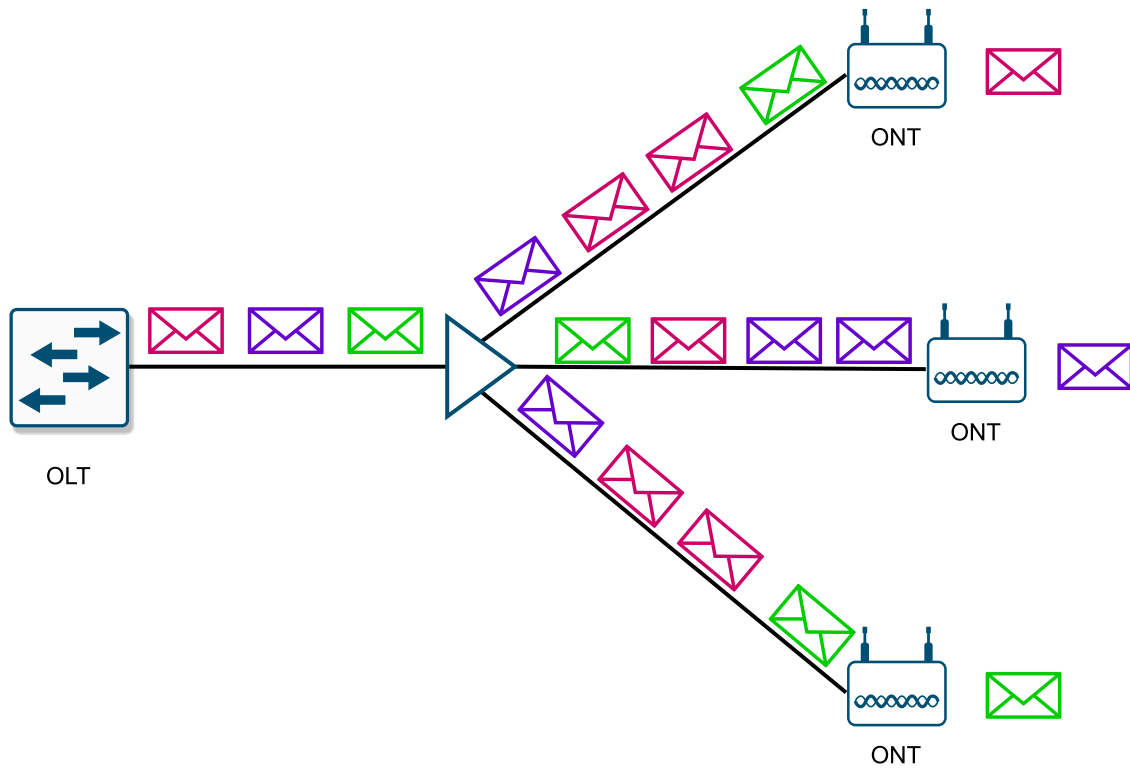


Ilustración 2. Transmisión descendente

(Radicelli, Pomboza, Villacrés, & Samaniego, 2019)

En la transmisión ascendente, la ONT mapea el tráfico de usuario y, usa acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), para la transmisión de los datos, lo que requiere de un sincronismo extremo para evitar colisiones, además de un método de asignación de ancho de banda (DBA), mismo que es realizado por la OLT y, del cual existen dos formas:

1. DBA estático, en donde las ONTs reportan el estado de las colas de tráfico cuando se transmiten en UL.
2. DBA dinámico, en donde la OLT verifica los patrones de tráfico de las ONTs.

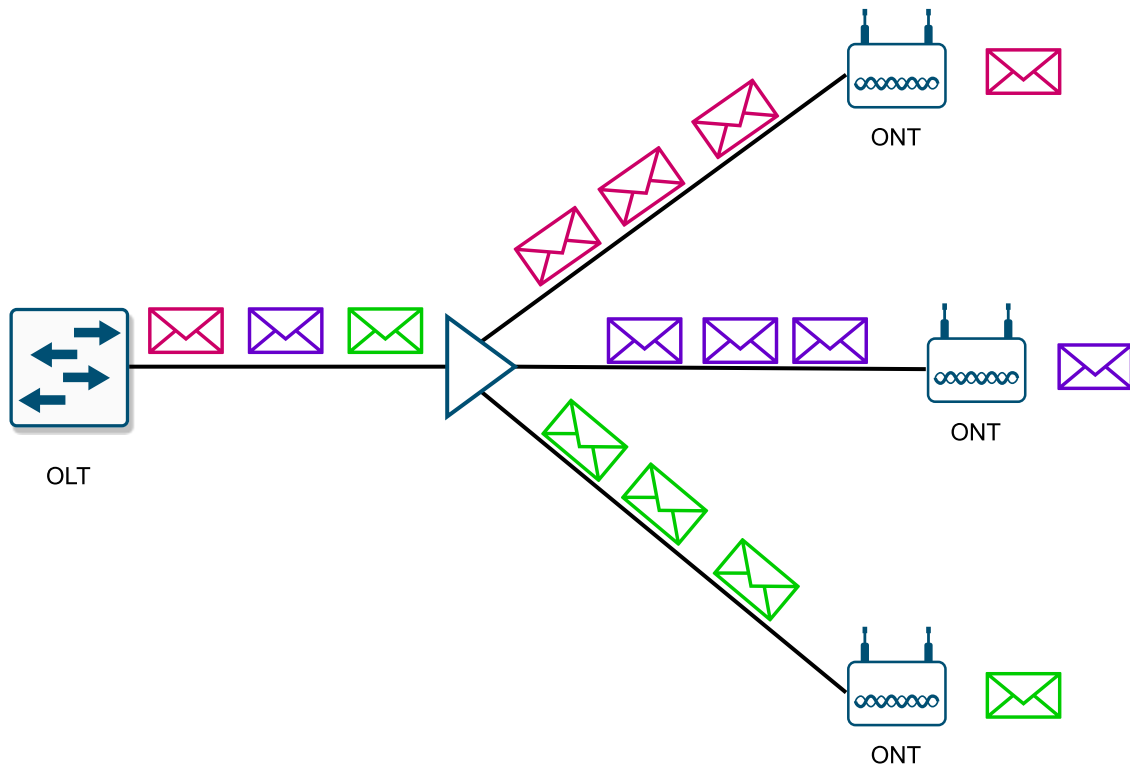


Ilustración 3. Transmisión ascendente

(Radicelli, Pomboza, Villacrés, & Samaniego, 2019)

2.2.3 Componentes generales

En una red óptica pasiva existen elementos ópticos en lugar de eléctricos, esto debido a que se reemplaza el tramo de red que utiliza cable coaxial por fibra óptica monomodo, teniendo de esta manera una red PON (Radicelli, Pomboza, Villacrés, & Samaniego, 2019).

De acuerdo con Radicelli los componentes principales de una red PON son los siguientes:

1. Terminal de línea óptica (OLT): punto donde se utilizan los puertos PON para la distribución de la ODN.
2. Red óptica de distribución (ODN): consta de fibras ópticas, splitters, empalmes y conectores.
3. Red óptica de acceso (OAN): son todas las conexiones que provienen de un mismo OLT.

4. Equipos terminales de red (MDU): proveen interfaces de fibra óptica hacia la red ODN.
5. Terminal de red óptica (ONT): se encuentra en las instalaciones del cliente, y le provee de diversas interfaces de conexión.

2.2.4 Método de encapsulación

El estándar IEEE 802.3ah desarrolló el protocolo de control multipunto (MPCP), mismo que fue heredado por 802.3av, y que facilita la implementación de varias asignaciones de banda en las redes basadas en Ethernet. En cambio, para encapsular la información, las tecnologías basadas en ATM utilizan GEM, que permite soportar cualquier tipo de servicio (Ethernet, ATM, TDM). (Radicelli, Pomboza, Villacrés, & Samaniego, 2019).

Este protocolo fue desarrollado como una función de subcapa de control (MAC). MCP se encarga entre otras cosas de la comunicación entre la OLT y las ONUs (Radicelli, Pomboza, Villacrés, & Samaniego, 2019).

El método de encapsulación GEM es el único esquema de transporte de datos en la capa de convergencia de transmisión GPON especificada. GEM proporciona un mecanismo de encuadre de longitud variable orientado a la conexión para el transporte de servicios de datos a través de la red óptica pasiva (PON) y es independiente del tipo de interfaz del nodo de servicio en la OLT, así como de los tipos de interfaces UNI en las ONT (ITU-T G.984.3, 2014).

Como el método de encapsulación GEM está integrado en la sección PON, es independiente de los tipos de interfaz de red de usuario (UNIs). El tráfico UNI siempre se encapsula en tramas GEM, de modo que no se necesita una función de conexión cruzada en el servicio GEM (ITU-T G984.4, 2008).

2.2.5 Encriptación

El algoritmo de cifrado utilizado es el estándar de cifrado avanzado (AES). Se trata de un cifrado por bloques que funciona con bloques de datos de 16 bytes (128 bits) (ITU-T G.984.3, 2014).

El proceso de encriptación definido para las redes basadas en ATM, es el estándar de encriptación (AES), que forma parte del estándar ITU-T, pero solo lo utilizan en el canal de retorno, mientras que las redes basadas en Ethernet, el mecanismo de encriptación no está definido en el estándar, pero existen vendedores que lo implementan mediante el estándar de encriptación de datos (DES) (Radicelli, Pomboza, Villacrés, & Samaniego, 2019).

2.3 Redes TCP/IP

2.3.1 Modelo TCP/IP

Un modelo de redes, en ocasiones llamado también arquitectura de redes o plano de diseño de redes, refiere a un conjunto completo de capas, Individualmente, cada capa describe una pequeña función necesaria para una red, colectivamente estas capas, definen el que debe ocurrir para que una red informática funcione (Odom, 2019).

Antes cada fabricante definía su propio modelo de capas, esto hacía que no haya interoperabilidad en las redes, IBM y DEC eran de los fabricantes que hacían esto. Hoy en día, existe un modelo base que se usa para garantizar la interoperabilidad de las redes independientemente de quien sea el fabricante del componente de red, este modelo se llama TCP/IP.

El modelo TCP/IP es el modelo de red más ampliamente utilizado en el mundo. Fue desarrollado por la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa (Defense Advanced Research Projects Agency - DARPA) de los Estados Unidos en la década de 1970 y se ha convertido en un estándar internacional para la transmisión de datos en redes de computadoras (Tanenbaum & Wheterall, 2010).

El modelo TCP/IP es quien define la base lógica y física de la interoperabilidad de las redes, este modelo se divide en capas: capa de acceso a la red, capa de internet, capa de transporte y capa de aplicación. Cada una de estas capas tiene

una tarea asignada que ayuda que un objetivo se cumpla, el objetivo es, la red tenga comunicación con otras redes independientes.

El modelo TCP/IP define y hace referencia a una gran colección de protocolos que permiten la comunicación entre ordenadores. Para definir un protocolo, TCP/IP utiliza documentos denominados Request For Comments (RFC). El modelo TCP/IP también evita repetir el trabajo ya realizado por algún otro organismo de normalización o consorcio de proveedores, simplemente haciendo referencia a las normas o protocolos creados por esos grupos. Por ejemplo, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) define las redes LAN Ethernet; el modelo TCP/IP no define Ethernet en las RFC, sino que hace referencia a IEEE Ethernet como opción. Cada capa del modelo incluye protocolos y estándares que son relacionados a las funciones de la capa (Odom, 2019).

Tabla 1. TCP/IP Model

(Autor)

Application Layer
Transport Layer
Internet Layer
Network Access

En términos generales, puede decirse que las comunicaciones implican a tres agentes: aplicaciones, computadoras y redes. Ejemplos de aplicaciones son la transferencia de archivos y el correo electrónico. Las aplicaciones que nos ocupan aquí son aplicaciones distribuidas que implican el intercambio de datos entre dos sistemas informáticos. Estas aplicaciones y otras se ejecutan en computadoras que a menudo pueden soportar varias aplicaciones simultáneas (Stallings W. , 2005).

Las computadoras están conectados a redes, y los datos que se intercambian se transfieren a través de la red de una computadora a otra. Así, la transferencia de datos de una aplicación a otra implica primero llevar los datos a la computadora en

el que reside y, a continuación, llevar los datos a la aplicación deseada dentro del ordenador (Stallings W. , 2005).

La comunicación entre nodos no podría llevarse a cabo si no fuera por los modelos estándares de red.

2.3.1.1 Aplicación

Los protocolos de la capa de aplicación TCP/IP proporcionan servicios al software de aplicación que se ejecuta en un dispositivo. La capa de aplicación no define la aplicación en sí, sino que define los servicios que las aplicaciones necesitan. Por ejemplo, el protocolo de aplicación HTTP define como los navegadores web pueden extraer el contenido de una página web en un servidor web (Odom, 2019). La capa de aplicación es la que interactúa directamente con el usuario.

2.3.1.2 Transporte

La capa de transporte es quien se encarga de la transmisión libre de errores dependiendo la naturaleza del protocolo de la capa de aplicación. Esta capa proporciona servicios a la capa adyacente.

La mayoría de las aplicaciones dependen de una capa de transporte, como TCP (protocolo de control de transmisión) o UDP (protocolo de datagramas de usuario) en el caso de Internet. Dos funciones de la capa de transporte en Internet son la suma de comprobación de los datos de usuario y la multiplexación/demultiplexación de los datos de/a las aplicaciones. Mientras que la capa de red sólo se dirige a un host, los puertos en UDP o TCP permiten dirigirse a aplicaciones dedicadas (Schiller, 2003).

Aunque existen muchos protocolos de la capa de aplicación TCP/IP, la capa de transporte TCP/IP incluye un número menor de protocolos. Los dos protocolos de capa de transporte más utilizados son el Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y el Protocolo de Datagrama de Usuario (UDP). Los protocolos de la capa de transporte proporcionan servicios a los protocolos de la capa de aplicación que residen una capa más arriba en el modelo TCP/IP (Odom, 2019).

TCP/IP necesita un mecanismo para garantizar la entrega de datos a través de la red. Debido a que muchos protocolos de la capa de aplicación probablemente quieren una manera de garantizar la entrega de datos a través de la red (Odom, 2019).

2.3.1.3 Internet

La capa de aplicación incluye varios protocolos. La capa de transporte incluye menos protocolos, sobre todo TCP y UDP. La capa de Internet TCP/IP incluye un pequeño número de protocolos, pero sólo un protocolo principal: el Protocolo de Internet (IP) (Odom, 2019).

El protocolo IP proporciona servicios de direccionamiento y enrutamiento que son fundamentales en la capa de Internet en el modelo. Todos los dispositivos que son parte de una red IP necesitan una dirección IP para poder acceder a los servicios que esta proporcione, la capa de Internet es un pilar fundamental dentro del modelo TCP/IP, sin ella los paquetes de Internet no llegarían del punto A hacia el punto B.

En la capa de Internet también se centra la gestión de paquetes en la red. Se describen los conceptos de fragmentación de paquetes y reensamblado y, cómo la capa de Internet controla el flujo de datos para garantizar la entrega confiable de paquetes a su destino final (Forouzan & Chung Fegan, 2010).

2.3.1.4 Acceso a la red

La capa de acceso a la red consta de dos partes, enlace de datos y física, en estas dos se definen características claves para el correcto desempeño de la red.

La capa física y de enlace de datos del modelo definen los protocolos y el hardware necesarios para transmitir datos a través de una red física. Ambas colaboran estrechamente; de hecho, algunos estándares definen tanto las funciones de la capa de enlace de datos como las de la capa física (Odom, 2019).

La capa de acceso a la red se ocupa del intercambio de datos entre un sistema final (servidor, estación de trabajo, etc.) y la red a la que está conectado. El

ordenador emisor debe proporcionar a la red la dirección del ordenador de destino, para que la red pueda encaminar los datos al destino apropiado. Es posible que el ordenador remitente desee invocar determinados servicios, como la prioridad, que pueda proporcionar la red (Stallings W. , 2009).

La capa física define el cableado y la energía que fluyen por los cables. Mientras que la capa de enlace de datos proporciona servicios por encima de ella en el modelo (Odom, 2019).

CAPÍTULO 3. DISEÑO DE LA RED

3.1 Diseño a nivel físico

En la siguiente sección se describe el diseño de la red FTTH GPON a nivel físico, se presentan los conceptos de cálculo de potencias, equipos pasivos de la ODN y el área de trabajo del usuario final.

3.1.1 Estructura de la red GPON (ODN)

3.1.1.1 Balance de enlace óptico

La potencia recibida en la red será igual a la potencia acoplada a la fibra menos las pérdidas. Las pérdidas en el enlace se deben principalmente, a la atenuación introducida por la fibra y a las pérdidas de inserción de los conectores en los extremos emisor y receptor (Boquera, 2005).

De igual forma, el balance de enlace óptico se puede considerar como la distancia que hay entre la OLT y la ONT, que bien representa la estructura de la ODN (Optical Distribution Network). Esto es de suma importancia para garantizar un correcto desempeño de la red, si esto no se le da la importancia, la red FTTH GPON no se podrá certificar con respecto al estándar ITU-T G.984.x, esto se traduce a que el usuario final notará al momento de navegar por la red una serie de inconsistencias, tales como, lentitud, la información no carga, un acceso no uniforme, etc.

3.1.1.2 Calculo de potencias

Para el correcto cálculo de potencia de la red GPON FTTH se deben considerar 4 tipos de pérdida o atenuación:

1. Pérdida por inserción
2. Pérdida por distancia
3. Perdida por empalme
4. Pérdida por splitter

Los cuatro tipos de pérdidas mencionadas anteriormente son importantes y se debe considerar para que el usuario final no note inconsistencias en el uso de la red.

La fórmula para calcular la pérdida o atenuación total de la red es la siguiente:

$$A_t = (A_{splitter1} + A_{splitter2}) + \left(A_{\frac{fo}{km}} * D_t \right) + (A_{empalme} * N) + (A_{conectores} * N)$$

Donde:

A_t : Atenuación total

$A_{splitter1}$: Atenuación splitter 1

$A_{splitter2}$: Atenuación splitter 2

$A_{\frac{fo}{km}}$: Atenuación FO por km

D_t : Distancia total (ODN, OLT to ONT)

$A_{empalme}$: Atenuación por empalme (fusión)

$A_{conectores}$: Atenuación por conectores (mecánicos)

N : número

El cálculo de potencia de la red diseñada se realizó de la siguiente manera:

Los equipos por utilizar son OLT modelo ISCOM5508-GP y ONT modelo ISCOM HT303G-WS2, ambos del fabricante RAISECOM, para estos equipos sus características técnicas respecto a interfaces ópticas son las siguientes:

- OLT ISCOM5508-GP

Tabla 2. Características técnicas OLT

(Raisecom, 2014)

Parámetro	Descripción
Transmission rate	Tx: 2.5 Gbit/s Rx: 1.25 Gbit/s
Interface type	SC/PC
Max. Transmission distance	20 km
Central wavelenght	Tx: 1490 nm Rx 1310 nm
Tx optical power	1.5-5 dBm
Rx sensitivity	-28 dBm
Minimum overload point	-8 dBm

- ONT ISCOM HT303G-WS2

Tabla 3. Características técnicas ONT

(Raisecom, 2018)

Parámetro	Descripción
Transmission rate	Tx: 2.488 Gbit/s Rx: 1.244 Gbit/s
Interface type	SC/PC
Max. Transmission distance	
Central wavelenght	Tx: 1310 nm Rx: 1490 nm
Tx optical power	0.5-5 dBm
Rx sensitivity	-28 dBm
Minimum overload point	-8 dBm

Tabla 4. Presupuesto Óptico de enlace FTTH GPON

(Autor)

Cálculo de pérdida de potencia Tx			
Elemento	Cantidad	Valor de atenuación ITU-T G.984 [dB]	Total [dB]
Inserción	2 u	0.3	0.6
Empalme	10 u	0.2	2
Splitter	1:8 2 u	10.5	21
λ	1490 nm 9.5 km	0.23	2.185
Atenuación total [dB]			25.785

Tabla 5. Presupuesto Óptico de enlace FTTH GPON

(Autor)

Cálculo de pérdida de potencia Rx			
Elemento	Cantidad	Valor de atenuación ITU-T G.984 [dB]	Total [dB]
Inserción	2 u	0.3	0.6
Empalme	10 u	0.2	2
Splitter	1:8 2 u	10.5	21
λ	1310 nm 9.5 km	0.35	3.325
Atenuación total [dB]			26.925

Tabla 6. Enlace Óptico OLT-to-ONT

(Autor)

Cálculo de pérdida mínima y máxima			
Pérdida			
Max 1490 nm	Min 1490 nm	Max 1310 nm	Min 1310 nm
-20.785	-24.285	-21.925	-25.425

Tabla 7. Enlace Óptico ONT-to-OLT

(Autor)

Cálculo de pérdida mínima y máxima			
Pérdida			
Max 1490 nm	Min 1490 nm	Max 1310 nm	Min 1310 nm
-20.785	-25.285	-21.925	-26.425

Considerando los cálculos anteriores, la conexión más distante del usuario sería aproximadamente 9.5 km, tomando como referencia lo anterior, los valores de pérdida mínima y máxima en sentido OLT-to-ONT y ONT-to-OLT se van actualizando en función de la distancia del usuario.

3.1.1.3 Equipos pasivos

Los equipos pasivos utilizados en el desarrollo de la red FTTH GPON son los propios de una ODN: splitter, caja de empalme, NAP, Drop Cable, fibra óptica.

- Caja de empalme modelo OPCEF16SC65HT
- Caja para cierre de empalme
- Splitter 1:8 modelo OPDO10812SFSP
- F. O secundaria de 6, 12 y 48 H
- Caja de empalme NAP
- Drop Cable

3.1.1.1 Área de trabajo (WA)

En la casa/habitación del usuario se utilizaron con los siguientes materiales de fibra óptica y telecomunicaciones:

- Roseta óptica modelo OPCACD01S
- Pigtail modelo OPPISCA09B0010R19
- ONT ISCOM HT303G-WS2
- Patch Cord modelo OPCAPCC601PAZ
- Conector RJ45

3.1.2 Distribución jerárquica de la red (CO)

La distribución jerárquica se basó de acuerdo con los estándares internacionales, con el fin de que los equipos de telecomunicaciones estén situados en el lugar adecuado y funcionen adecuadamente.

3.1.2.1 Equipos activos

Los equipos utilizados en la red serán de los proveedores Raisecom y MikroTik, en el núcleo de la red se instaló un CCR 1072-1G-2S+; en la capa de distribución un CCR 1036-8G-2S+, junto a la OLT ISCOM 5508-GP; y en la capa de acceso se implementó una ONT ISCOM HT303G-WS2.

Tabla 8. Diseño jerárquico telecomunicaciones

(Autor)

Modelo Jerárquico Cisco	
Core	MikroTik CCR 1072
Distribution	MikroTik CCR 1036 – Raisecom ISCOM 5508-GP
Access	Raisecom ISCOM HT303G-WS2

3.1.2.2 Redundancia

El uso de redundancia en las redes empresariales asegura que la presencia de alguna falla en la red en operación pasara desapercibida. Empresas como cisco

en su modelo jerárquico de redes lo consideran como parte sustancial y de suma relevancia en el diseño e implementación de redes IP modernas.

3.1.2.3 Escalabilidad

La escalabilidad es un requisito al momento de diseñar redes empresariales y esa característica no se excluye en la implementación del estándar ITU-T G.984.x. La escalabilidad garantiza la integración de nuevos usuarios en el futuro.

La escalabilidad en la red implementada en este trabajo se refleja a través de la interfaz PON de la OLT. Si existiera la necesidad de ampliar la conectividad para permitir más usuarios finales, se habilita un nuevo puerto PON; esta acción incrementará el consumo de ancho de banda, sin embargo, ya se ha tomado en cuenta en el núcleo de la red.

3.2 Diseño a nivel lógico

Cuando se diseña una red es de suma importancia que la capa física este bien implementada de acuerdo con los estándares internacionales y normativas relevantes en el país que se lleva a cabo el proyecto. El diseño a nivel lógico es una fase fundamental para que nuestra red siga teniendo buen rendimiento y así el usuario final no experimente desperfectos (lentitud, desconexión, etc.).

3.2.1 Acceso a la red

3.2.1.1 División ancho de banda por usuario

Anteriormente se mostró el cálculo necesario para que la potencia óptica llegue de OLT a ONT y ONT a OLT de manera correcta, el siguiente paso es la división del ancho de banda a los usuarios.

Este cálculo está basado en las características técnicas de la OLT con modelo ISCOM HT5508-GP. De acuerdo con la hoja de datos, la OLT ISCOM HT5508-GP tiene 8 puertos PON que admiten el módulo óptico que cumple con clase B+, C+ y C++ (Raisecom, 2014).

La tasa de transmisión (Tx) es de: 2560 Mbps (2.5 Gbps) y recepción (Rx) es de: 1280 Mbps (1.25 Gbps). Para no hacer un cuello de botella en la capa de distribución, cada puerto PON admitirá 64 usuarios, es decir, 512 usuarios por OLT. La razón de tener 64 usuarios por puerto PON, está en función del uso del splitter 1:8 de primer nivel y segundo nivel. En la Ilustración 1, podemos visualizar que en la ODN se encuentra un splitter 1:8 de primer nivel, seguido de otro splitter 1:8 de segundo nivel.

Con base a los datos anteriores, los cálculos serían:

1 port PON 2.5 Gbps downstream / 1.25 Gbps upstream

1 port PON = 64 users

Cálculos de descarga y subida por usuario

$$\frac{2560 \frac{\text{Mbps}}{\text{PON}}}{64 \frac{\text{User}}{\text{PON}}} = 40 \frac{\text{Mbps}}{\text{User}} \text{ downstream}$$

$$\frac{1280 \frac{\text{Mbps}}{\text{PON}}}{64 \frac{\text{User}}{\text{PON}}} = 20 \frac{\text{Mbps}}{\text{User}} \text{ upstream}$$

La OLT tiene 8 puertos PON por lo que $8 \text{ PORTS} * 64 \text{ USERS} = 512 \text{ USERS/OLT}$ en total.

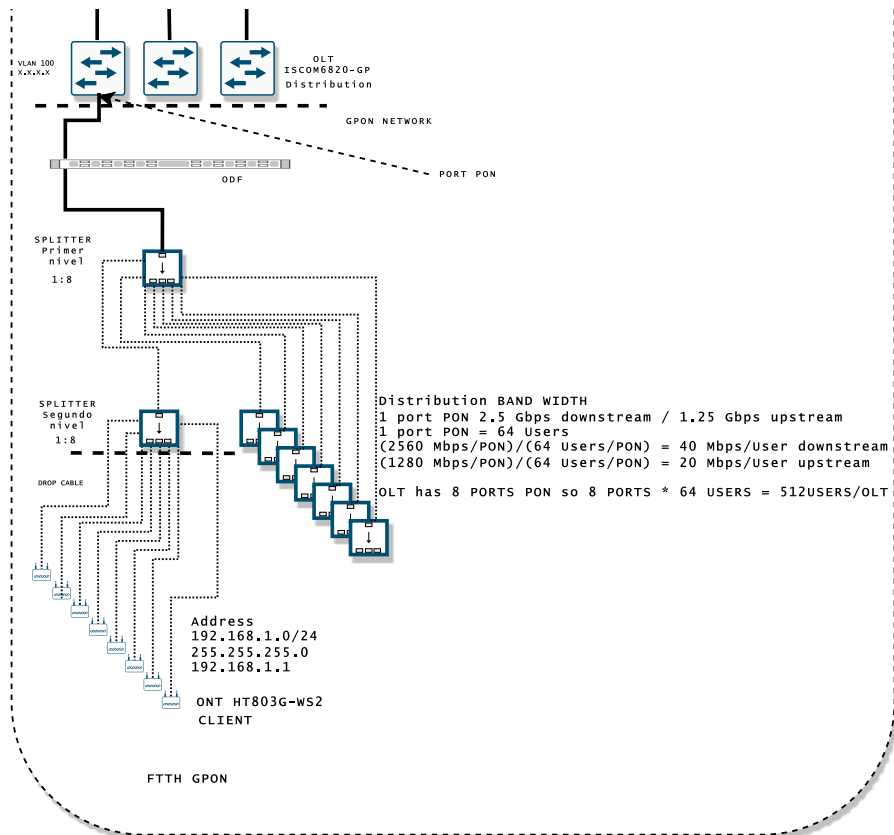


Ilustración 4. Band-width ODN

(Autor)

3.2.1.2 Seguridad

La seguridad lógica de la red implementada se basa en llevar a cabo las mejores prácticas, tales como, usar SSH en lugar de telnet para la conexión remota a los equipos y así preservar la seguridad de estos. Por otro lado, cuando los usuarios realizan transferencias de archivos a través de Internet o accesos a sitios maliciosos o falsos, es responsabilidad de cada usuario.

La validación de los usuarios para que tengan conexión con la red se realiza de manera remota a una base de datos de un servidor RADIUS, donde este valida si el usuario es apto o no para tener conexión a Internet. Todo este sistema de validación de usuarios a través del servidor RADIUS se lleva a cabo con VPNs que permiten la interconexión remota, para esto se usan los túneles L2TP con IPSec para mayor seguridad y EOIP.

Para mayor seguridad de la red en su núcleo y distribución se implementan reglas de firewall, como la denegación de ciertos paquetes que vienen de Internet y que intentan conexión con las IP pública aplicada al router CORE CCR 1072. Para el CCR 1036 se aplican reglas estándar como denegar conexión de los usuarios a recursos de la red.

Todas estas pautas explicadas buscan cumplir con la triada de la seguridad, alta disponibilidad, confidencialidad e integridad a los recursos de la red interna y la conexión de los usuarios.

3.2.1.3 Salida a Internet (PPPoE)

Para asegurar la escalabilidad de la red es necesario automatizar la asignación de direcciones IPv4 a nuestros usuarios autorizados, esto con el fin de agilizar los procesos y el usuario final no tenga inconformidades.

De acuerdo con el RFC 2516, PPP over Ethernet (PPPoE) proporciona la capacidad de conectar una red de hosts a través de un simple dispositivo de acceso puente a un concentrador de acceso remoto. Con este modelo, cada host utiliza su propia pila PPP y al usuario se le presenta una interfaz de usuario familiar. (UUNET, Technologies Inc; RedBack , Networks Inc; RouterWare, Inc;, 1999)

Tomando en cuenta este protocolo, la asignación de una dirección IPv4 a nuestros usuarios se dará asignándoles un perfil junto a una contraseña, el usuario tendrá un perfil cliente, mientras que, en nuestra capa de distribución, específicamente el MikroTik CCR 1036 tendrá el perfil servidor, este administrará las pilas (pool) de direcciones asignables a los usuarios que tengan el usuario y contraseña correcta.

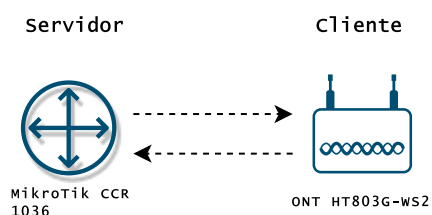


Ilustración 5. Modelo Cliente-Servidor

(Autor)

3.2.2 Distribución de la red

3.2.2.1 VLAN

Los equipos en la capa de distribución de la red son el CCR 1036 y la OLT RAISECOM como se ha descrito anteriormente, para la segmentación de la red a todos los usuarios que necesitan conexión de manera predeterminada se les agrega a una VLAN ajena a la VLAN 1, todo esto para mejores prácticas y los usuarios no vean los recursos de la red que están en otra VLAN.

3.2.2.2 Default Route

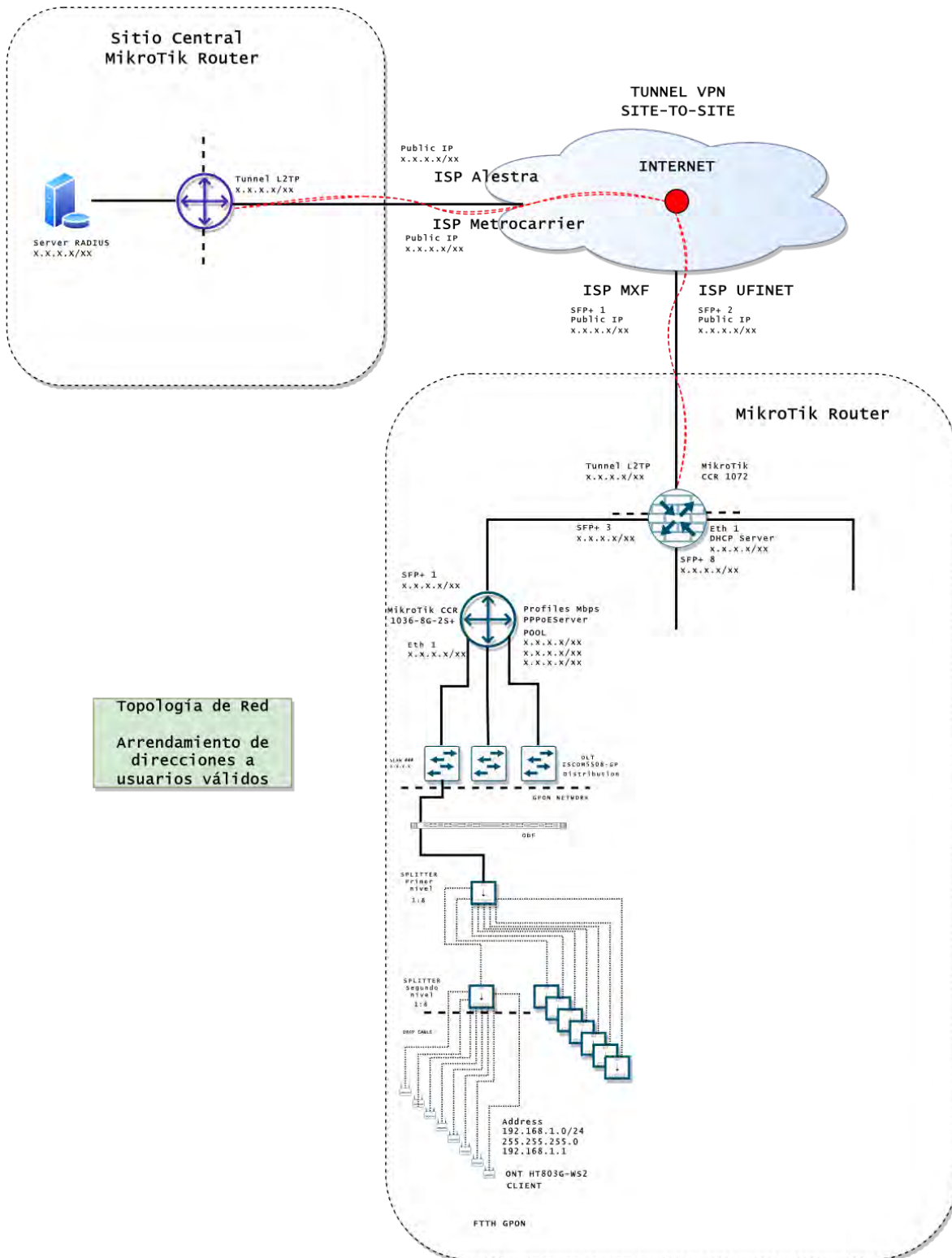
La OLT RAISECOM puede funcionar como un switch de capa 3 o como un switch únicamente, este dispositivo en esta ocasión utiliza cierta característica de capa 3, tal como, el enrutamiento de los paquetes que van a Internet, esta ruta es llamada default route.

Comando: `ip route 0.0.0.0 0.0.0.0`

Este comando es aplicado directamente en la CLI en el modo de configuración global de la OLT.

3.2.2.3 Arrendamiento IP (PPPoE)

El arrendamiento de direcciones IPv4 se dará de la siguiente manera, estando en comunicación los siguientes tres equipos: RADIUS, CCR 1036 y ONT (ver Ilustración 6).



Topología de Red
Arrendamiento de direcciones a usuarios válidos

Ilustración 6. Sistema de autenticación de usuarios validos

(Autor)

La petición iniciará con la ONT y se dividirá en dos fases, descubrimiento y sesión. El primer mensaje de iniciación de descubrimiento activo PPPoE (PADI) será del cliente PPPoE, esto con la finalidad de buscar un servidor PPPoE activo, posteriormente el servidor PPPoE responderá con un mensaje de oferta de descubrimiento activo (PADO), este se enviará si el servidor puede proporcionar el servicio. Para este punto el cliente enviará de nuevo mensaje de solicitud de detección activa PPPoE (PADR), para finalizar la fase de descubrimiento el servidor PPPoE responderá con un mensaje PPPoE Active Discovery Session-confirmation (PADS), este mensaje servirá para establecer la sesión y proporcionar la identificación de la sesión.

Durante la fase de sesión se llevan a cabo el intercambio de mensajes, los cuales son, paquete de control ascendente (PADI), paquete de control descendente (PADO), paquete ascendente (PADR), paquete de control descendente (PADS) y paquete de control ascendente y descendente (PADT) (Nokia, 2015).

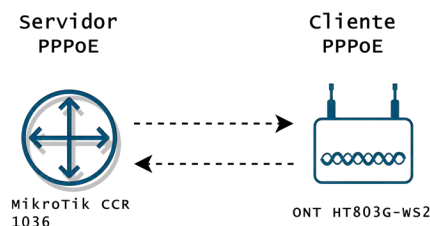


Ilustración 7. Fase descubrimiento y sesión PPPoE

(Autor)

Las fases anteriores solo se presentan entre el servidor PPPoE y el cliente PPPoE, posterior a eso, la autenticación con RADIUS es una característica valiosa que muchos ISP han usado a lo largo de los años, implementándolo así en tecnologías como DSL entre otras (Nokia, 2015).

RADIUS como se mencionó, se puede utilizar para la autenticación. La autenticación es el segundo punto para validar el arrendamiento de direcciones IPv4 a los usuarios finales de la red.

Los siguientes atributos se envían al servidor RADIUS para la autenticación PPPoE:

- User-Name
- User-Password
- Service-Type
- Framed-Protocol

En la respuesta del servidor RADIUS, se aceptan los siguientes atributos de autorización para hosts PPPoE:

- Session-Timeout
- Primary DNS
- Secondary DNS

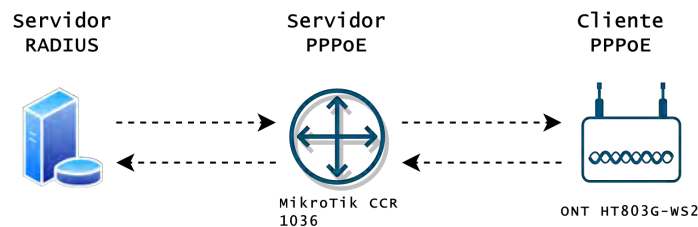


Ilustración 8. Autenticación con servidor RADIUS

(Autor)

Para cuando el servidor haya autenticado al usuario satisfactoriamente, este ya tendrá una dirección IPv4 que le permita tener conexión a Internet.

3.2.3 Núcleo de la red

3.2.3.1 Enrutamiento dinámico

En el núcleo de la red se presentan los procesos más robustos, como el enrutamiento dinámico, se ejecutará el protocolo IGP de estado de enlace OSPF, a la red se le asignará un área y estará en contacto con el área 0 (backbone), donde, el backbone será una red remota.

OSPF anunciará redes asociadas al router CCR 1072 y el router CCR 1036, primero se formarán adyacencias con los routers vecinos enviando Hello Packets cada 10 segundos con dirección destino 224.0.0.5, dirección multicast. Posterior, se comenzará con el intercambio de la DBD (database descriptor), este proceso

se llevará a cabo hasta que todos los router pertenecientes al área tengan la DBD igual.

Por último, los mensajes LSR (Link State Request), LSU (Link State Update) y LSAck (Link State Acknowledgment) estarán viajando por la red para ejercer los cálculos de SPF (Dijkstra Shortest Path First Algorithm). Cuando los cálculos del algoritmo SPF hayan acabado la tabla de enrutamiento de los routers, la red estará lista para enrutar los paquetes a los recursos de la red o hacia Internet.

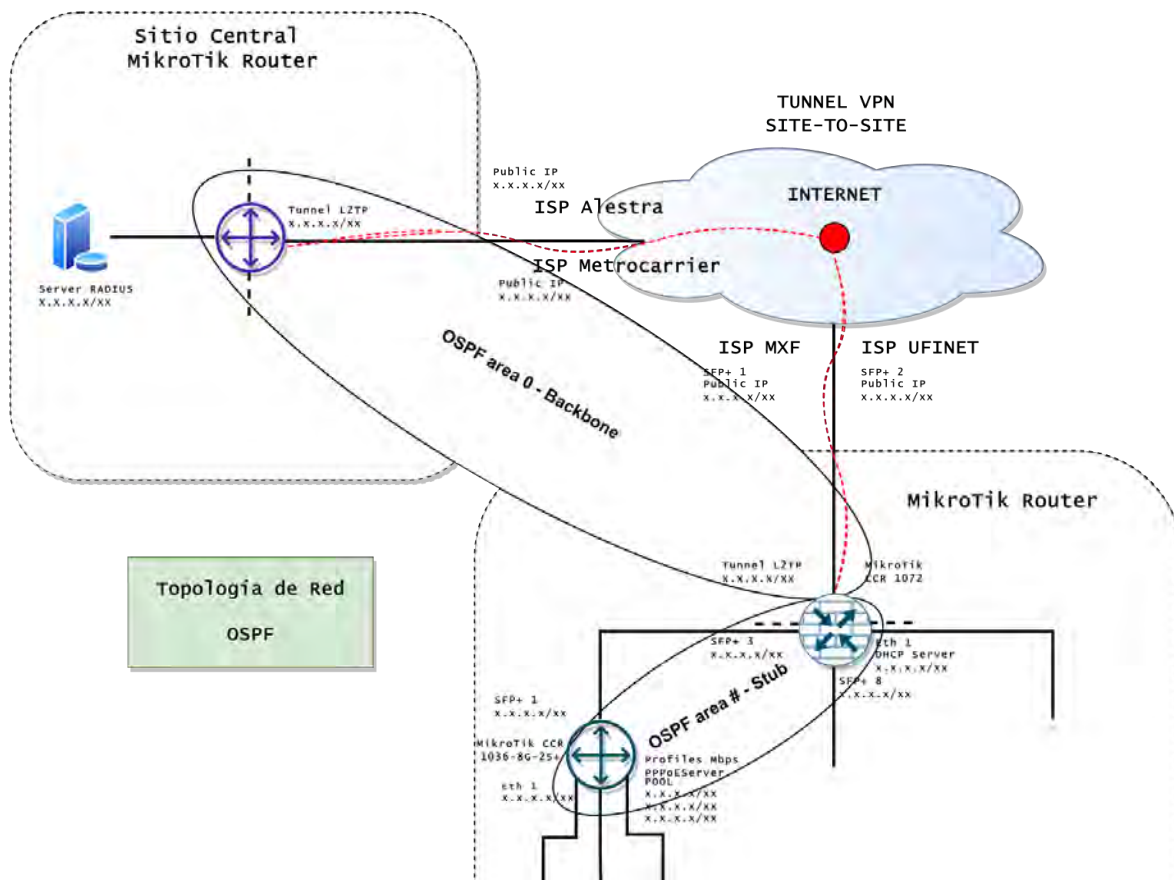


Ilustración 9. Enrutamiento dinámico OSPF

(Autor)

De esta forma, OSPF se encargará de colocar en la tabla de enrutamiento las mejores rutas a las redes externas.

3.2.3.2 Direccionamiento IPv4

En el núcleo de la red y parte del router de distribución se utilizaron direcciones IPv4 clase B, del rango privado 172.16.0.0 - 172.31.255.255, los usuarios finales arrendan una dirección WAN IPv4 clase A, en el rango de direcciones privadas, 10.0.0.0 - 10.255.255.255.

Dicho lo anterior se emplea la técnica VLSM para optimización de las direcciones IPv4.

3.2.3.3 Túneles L2TP y EOIP

Hasta este punto se ha descrito que el arrendamiento de direcciones IPv4 por parte de los usuarios finales se lleva a cabo con el protocolo PPPoE usando autenticación con un servidor RADIUS remoto, para esto se necesita de enrutamiento dinámico para alcanzar este servidor remoto.

Sin embargo, lo anterior no sería posible si no se agrega a la arquitectura de la red el uso de VPNs, como se sabe, las VPNs son Redes Privadas Virtuales, estas ayudan a comunicar redes geográficamente distantes haciendo uso de Internet.

Internet es una red de acceso a múltiples usuarios, por tal motivo es necesario contar con medidas preventivas por si algún ente malicioso intercepta los paquetes.

Para lograr la comunicación de nuestras redes geográficamente distantes y así poder acceder al servidor RADIUS que facilita la autenticación de los usuarios finales se hizo uso de túneles L2TP y EOIP.

La configuración de estos túneles se basa en la arquitectura cliente - servidor, el router MikroTik CCR 1072 actuará como un router cliente, mientras tanto, el router localizado en la red remota actuará como el servidor, el cual validará la conexión a la VPN.

Para la configuración del túnel L2TP el servidor necesitará configurar las siguientes características, perfil (profile), secreto (secret) y la configuración del servidor L2TP.

Para el perfil se dan los siguientes campos como requisito indispensable:

- Name: VPN_L2TP
- Local Address: ip_pública en interfaz física propia
- Remote Address: ip_pública en interfaz física vecina

Para el secreto:

- Name: RED_REMOTA
- Password: 1234-5678
- Service: l2tp
- Profile: VPN_L2TP

El servidor L2TP interfaz:

- IPSec: required
- IPSec secret: 123456789

Nota: las contraseñas “123456789” son únicamente para fines demostrativos, por favor no utilice estas en un entorno de red empresarial real.

El servidor L2TP estará esperando alguna solicitud de algún cliente, por lo que el cliente estará configurado de la siguiente manera:

Cliente L2TP interfaz:

- Name: cliente-l2tp
- Connect to: ip_pública de servidor l2tp
- User: user1
- Password: 1234-5678
- Use IPSec: yes
- IPSec secret: 123456789

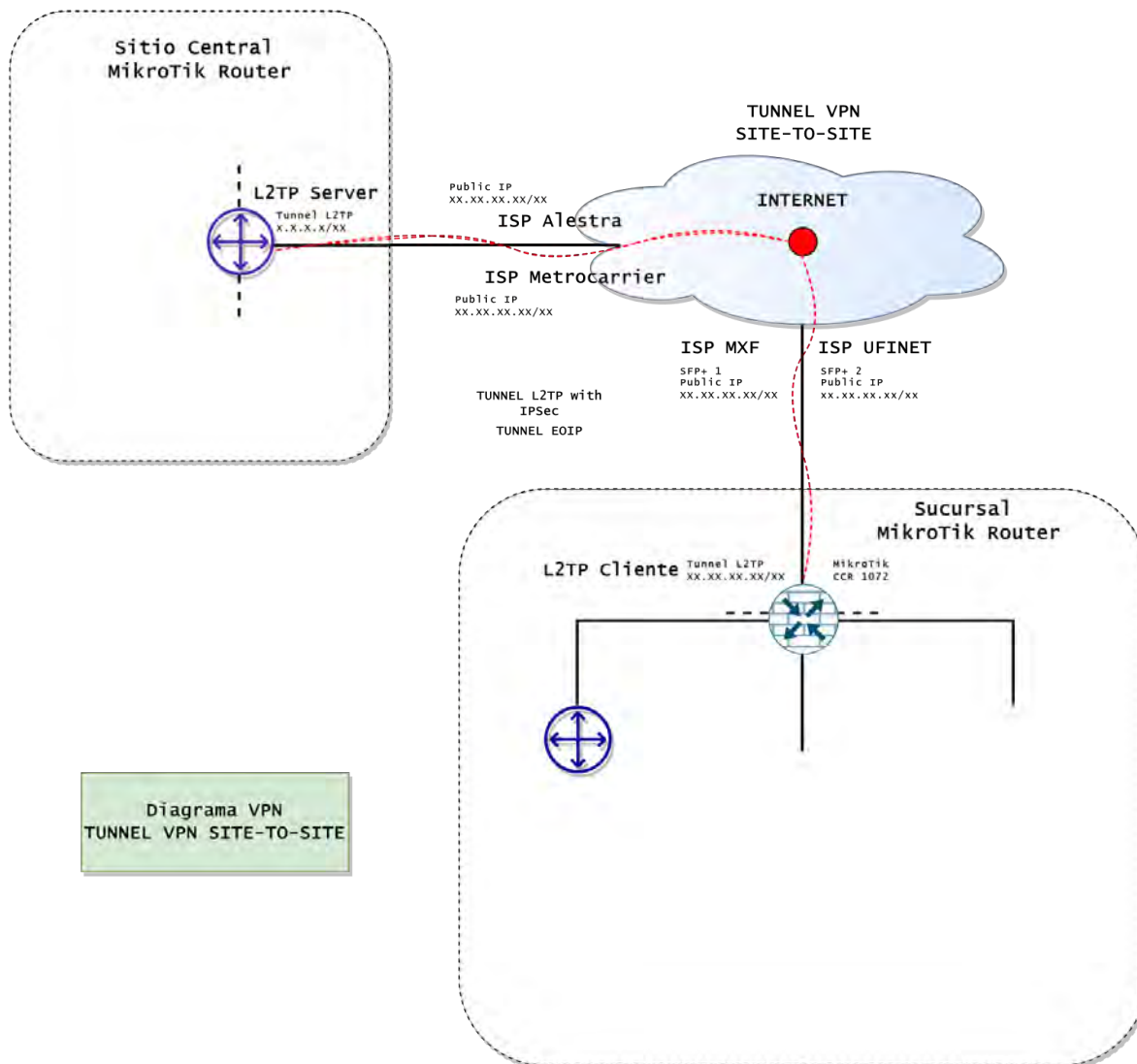


Diagrama VPN
TUNNEL VPN SITE-TO-SITE

Ilustración 10. VPN Site-to-Site L2TP

(Autor)

La implementación del túnel EOIP es relativamente parecido, ocurre que son menos pasos. El túnel EOIP no ayudará a ampliar y poder acceder los equipos de manera remota en capa 2. Se configura lo siguiente para el servidor EOIP:

Interfaz EOIP (router en sitio central):

- Name: VPN_EOIP
- Local Address: ip_pública en interfaz física propia
- Remote Address: ip_pública en interfaz física vecina
- Tunnel ID: 1

Interfaz EOIP (Router CCR 1072):

- Name: VPN_EOIP
- Local Address: ip_pública en interfaz física propia
- Remote Address: ip_pública en interfaz física vecina
- Tunnel ID: 1

3.2.3.4 IPSec

El protocolo IPSec se ha empleado para hacer más rígida la seguridad de la red. La implementación de las VPNs trae consigo grandes beneficios, pero también trae riesgos, por ello es necesario hacer una combinación entre L2TP/IPSec.

3.2.3.5 DHCP

DHCP se encargará del arrendamiento de direcciones IPv4 exclusivamente para los usuarios que administran la red, estos estarán en un dominio de red diferente a los usuarios comunes que solo utilizan la red para acceder a los recursos de Internet. El pool definido para arrendar es una dirección clase C con máscara de 24 bits.

CAPÍTULO 4. IMPLEMENTACIÓN DE LA RED

4.1 Red de distribución óptica (ODN)

La implementación de la red GPON FTTH se realizará como un laboratorio (replica) a escala, representando los dos niveles de splitter teniendo como punto inicial el puerto PON de la OLT y en el punto final nuestra ONT.

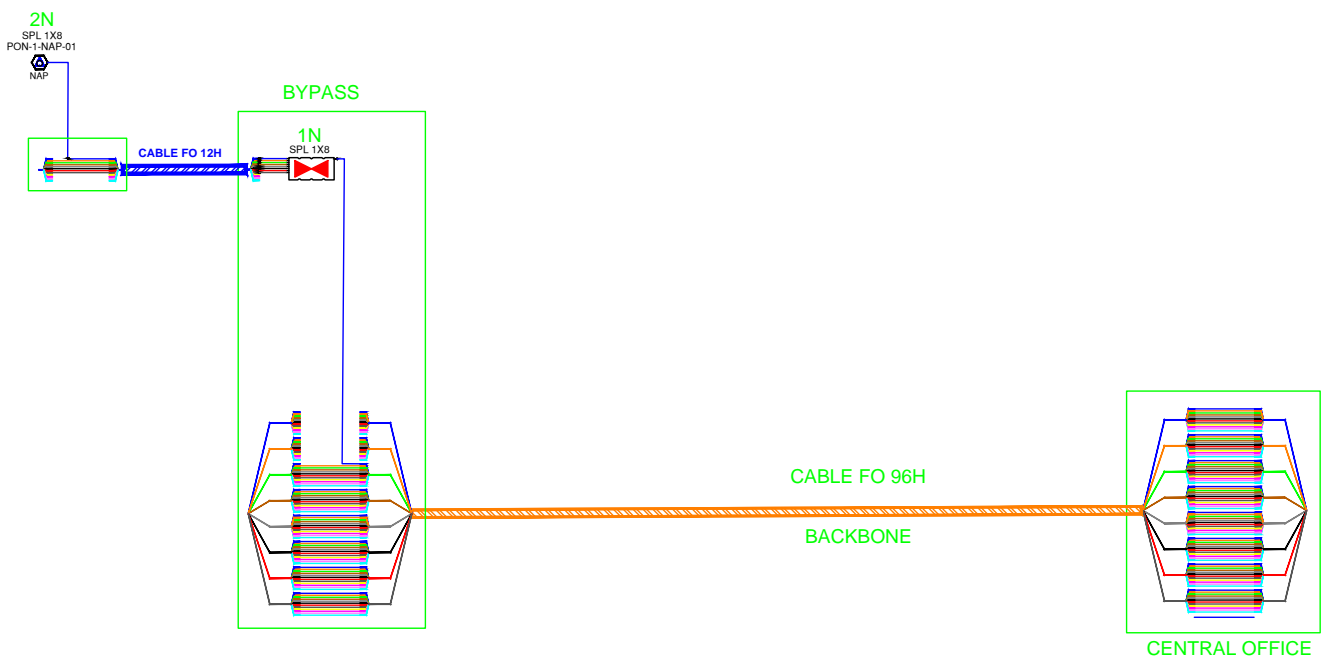


Ilustración 11. Diagrama unifilar puerto PON 1

(Autor)

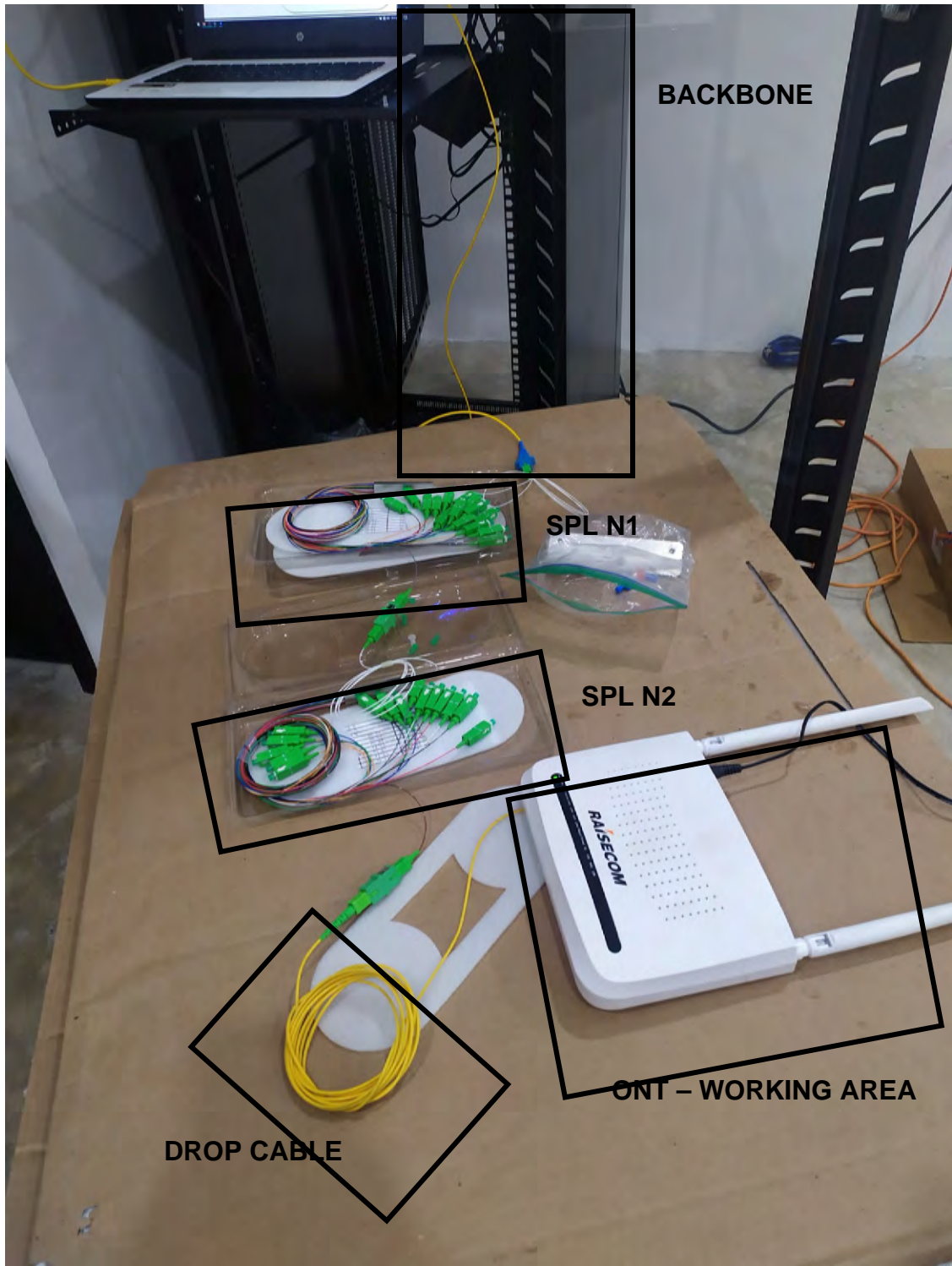


Ilustración 12. LAB GPON FTTH

(Autor)

La Ilustración anterior describe las conexiones de la ODN desde el puerto PON de la OLT hasta la ONT, el enlace que hace referencia al backbone es un cable de fibra óptica LC-UPC conectado a un acoplador que conecta de igual forma a el splitter 1:8 a través de un conector SC-APC. El agregar un conector LC-UPC – ACOPLADOR – SC-APC no debería llevarse a la practica en un entorno empresarial, en esta ocasión se realizó para fines académicos.

El splitter de primer y segundo nivel se conectan a través de un cable de fibra óptica que de igual forma es un enlace backbone, en esta ocasión el splitter de primer y segundo nivel están conectados de forma directa, sin hacer referencia al enlace backbone.

En la propuesta de red implementada, el splitter de segundo nivel es al mismo tiempo la NAP, punto donde el drop cable conecta con la roseta óptica en la oficina del usuario, que a su vez llega a la ONT del usuario final.

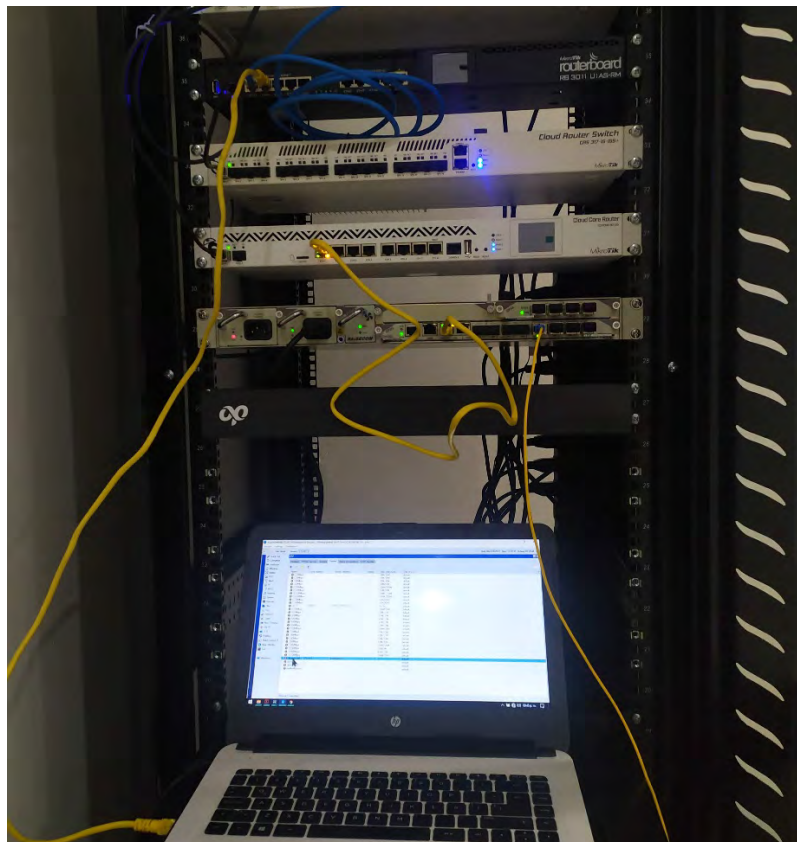


Ilustración 13. Oficina Central (CO)

(Autor)

4.1.1 Cables ópticos

Los distintos enlaces que surgirán para la red GPON serán de distinta categoría, es decir, habrá un tramo llamado backbone que consta de un cable de fibra óptica de 96 hilos, que contiene 8 buffers. El buffer número tres (verde), se usará para los primeros seis puertos PON, hilo azul de buffer verde se usa para puerto PON 1 de la OLT RISECOM, así consecutivamente.

Cuando se fusione la fibra azul de buffer verde, se fusiona con el splitter de primer nivel 1:8, el primer hilo del splitter de primer nivel se fusiona con el cable de fibra óptica secundaria de doce hilos, que será de igual forma el hilo de color azul.

El splitter de segundo nivel 1:8 se fusionará con el hilo azul del cable de fibra óptica secundaria, la cual es la segunda punta. Hasta este punto los niveles de potencia óptica se mantienen en orden, la siguiente conectorización se lleva a cabo con empalme mecánico, que es el drop cable.

El drop cable sale del splitter de segundo nivel 1:8, esto permitirá conectar ocho clientes seguidos. La primera punta del drop cable sale del splitter de segundo nivel y la segunda punta conecta con la roseta en el área de trabajo del cliente (WA), la roseta desprende un pigtail que conecta a su vez la ONT.

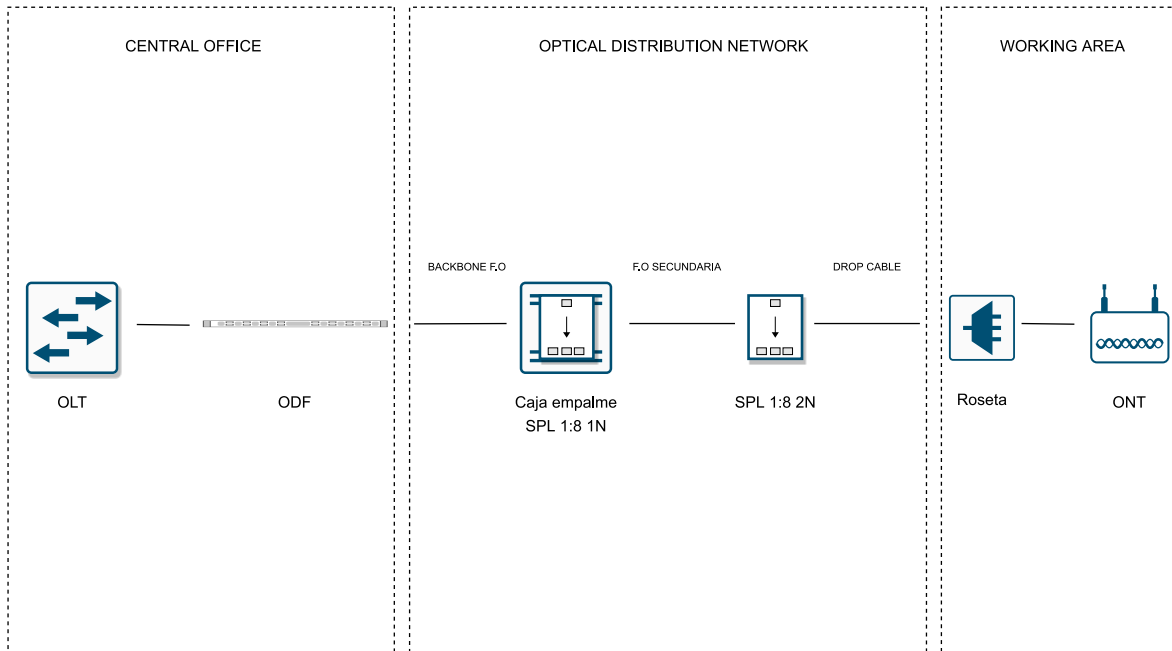


Ilustración 14. Diagrama de la red conformada

(Autor)

4.1.2 Cierres de empalme

A lo largo de la ODN se darán empalmes para unir ciertos equipos ópticos ya sea splitter de primer nivel o segundo nivel, cable de fibra óptica secundaria o la roseta en el área de trabajo del usuario.

Estos empalmes pueden ser por fusión o conectorización mecánica, de acuerdo con nuestros estándares, se usará el empalme por fusión al momento de unir el cable de fibra óptica del backbone con el primer nivel de splitter, hasta el segundo nivel de splitter, a partir del drop cable se usa empalme por conectorización mecánico.

El empalme por conectorización mecánico se debe realizar con una alta precisión, esto a razón de cuidar los niveles de potencia óptica y, no perder de vista que un mal empalme mecánico puede agregar atenuación no requerida, causando así degradación en el servicio.

4.1.3 NAP

El punto de acceso a la red está localizado en el segundo nivel de splitter que es 1:8, esto permitirá que en una NAP se podrán conectar 8 usuarios. El empalme, como se mencionó anteriormente, será a través de empalme mecánico.

4.1.4 Accesorios

Los accesorios pueden pasar desapercibidos, pero al momento de instalar los componentes ópticos en la ODN, o en el área de trabajo del usuario final estos son de suma importancia.

Accesorios como alcohol isopropílico, etiquetadora, cinchos o grapas son importantes para que el usuario final no note detalles en la instalación de todos los componentes, esto da como resultado un buen trabajo y a su vez permite que el servicio tenga un rendimiento óptimo.

4.2 Red TCP/IP

4.2.1 Rack



Ilustración 15. Rack Central Office

(Autor)

El rack que contiene a los dispositivos activos de la oficina central está distribuido de la forma anterior, dos ODF que conectarán los enlaces backbone distribuidos

por la zona urbana, el MikroTik CCR 1036, MikroTik RB 3011, MikroTik CCR 1072, MikroTik 317, por último, la OLT Risecom.

Seguido de la OLT se coloca el organizador horizontal para los cables de fibra óptica y mejor distribución de los jumpers. Se instalan tres OLT, por la razón de dejar dos espacios vacíos.

CAPÍTULO 5. MONITOREO DE LA RED

5.1 PRTG

PRTG es una herramienta de monitoreo de infraestructura de red, tiene la funcionalidad de detectar los sensores de equipos de telecomunicaciones, sistemas, dispositivos, tráfico y aplicaciones de red LAN/WAN, supervisar servidores, sitios web, entre otros servicios.

PRTG es compatible con una variedad de tecnologías como las siguientes:

- SNMP
- WMI
- SSH
- Solicitudes HTTP
- API REST
- PING (ICMP)
- SQL (DB)

Esta herramienta permite la visualización de la infraestructura de red que se diseñó e implementó, todo esto a través de mapas que recolectan la información en tiempo real creando así diagramas bastos y con mucho detalle.

5.1.1 Tráfico de la red

El nivel de tráfico que fluye sobre la red nos ayudará a saber si nuestros usuarios están usando el ancho de banda otorgado, esto de igual forma ayuda a saber si en algún punto de la infraestructura de red se está dando algún cuello de botella.

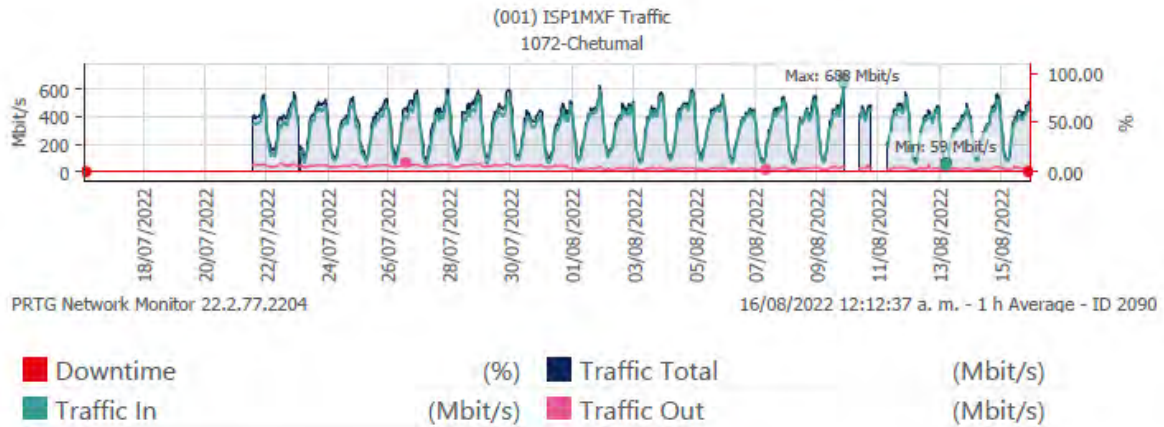


Ilustración 16. Tráfico ISP 1 Chetumal

(Autor)

En la Ilustración 16, podemos observar que en el periodo comprendido del 22 de Julio de 2022 al 16 de agosto de 2022 ha habido un consumo de trafico de cierta forma uniforme a excepción del periodo comprendido del 10 de agosto y parte del 11 de Agosto de 2022 en el cual hubo una falla eléctrica.

Podemos observar que los picos de tráfico llegan hasta más de los 688 Mbps. Por otro lado, el punto más bajo de tráfico está entre los 200 y 50 Mbps.

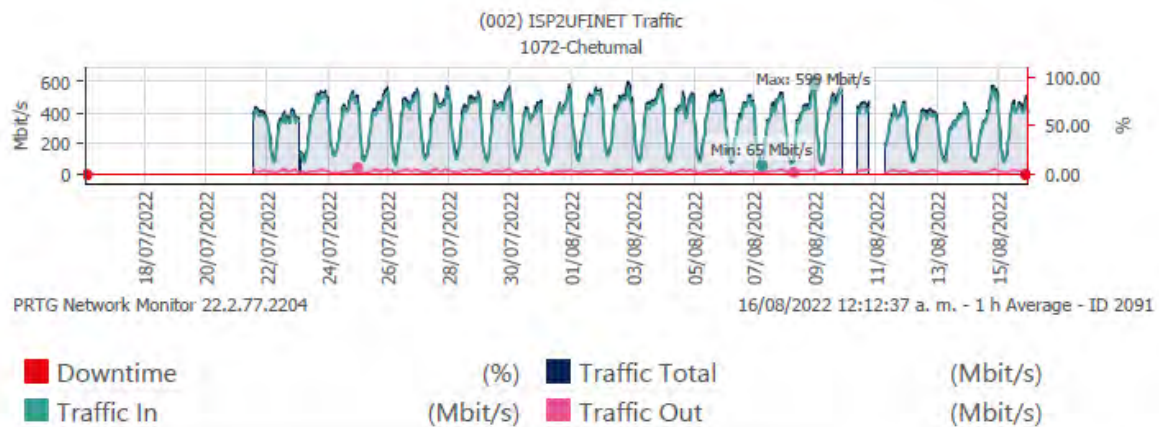


Ilustración 17. Tráfico ISP 2 Chetumal

(Autor)

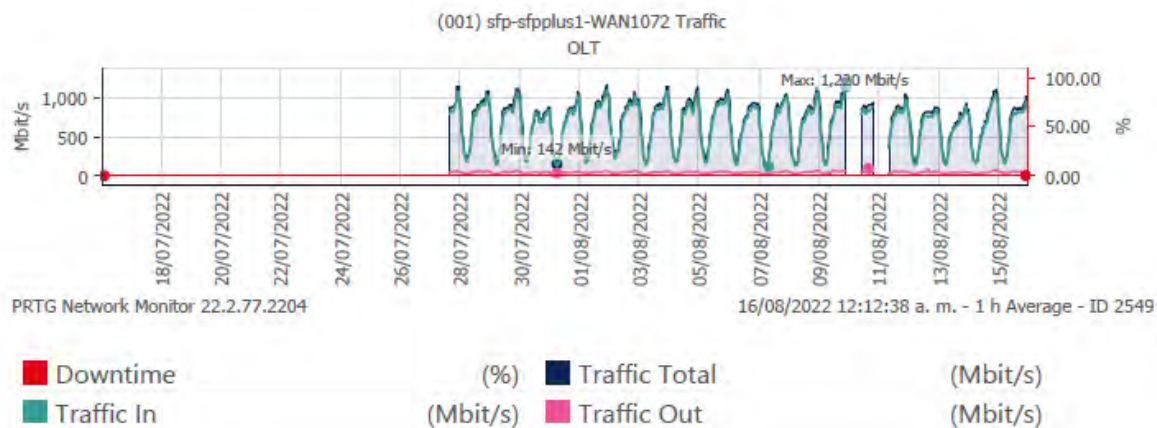


Ilustración 18. Tráfico FTTH Chetumal
(Autor)

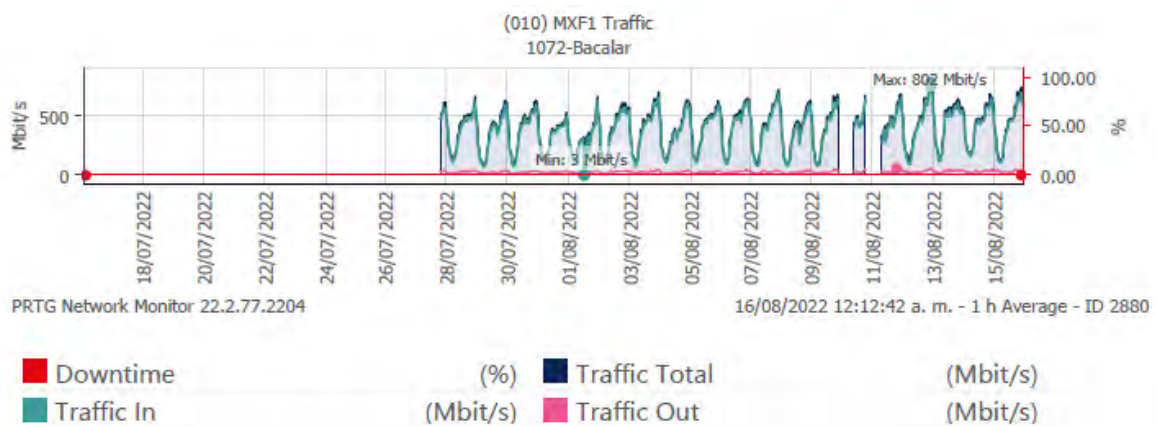


Ilustración 19. Tráfico ISP 1 Bacalar
(Autor)

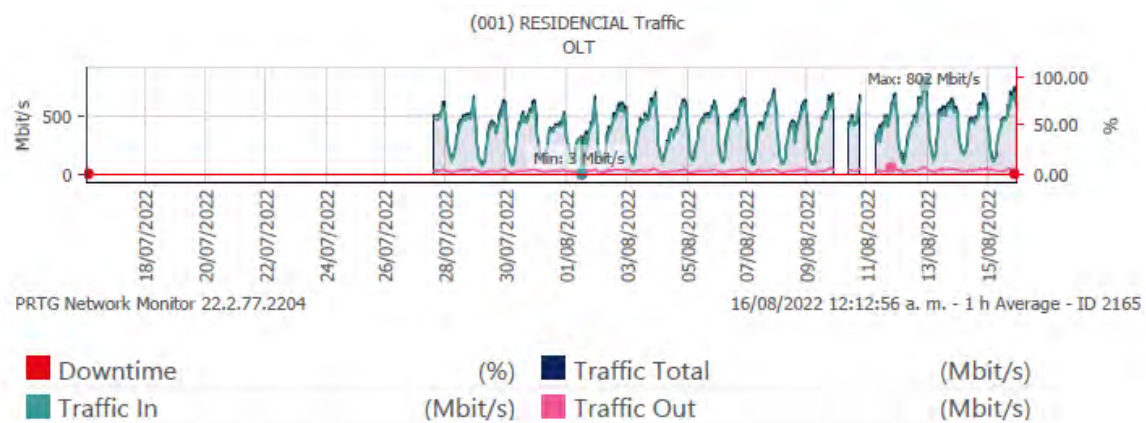


Ilustración 20. Tráfico FTTH Bacalar

(Autor)

5.1.2 Latencia

La latencia en la red es un parámetro crítico en el desempeño de una red, este parámetro nos proporciona cuanto tiempo invierte un paquete para viajar del punto A al punto B, por defecto, una latencia debajo de los 80 ms es ideal para que los usuarios no noten inconsistencias en la red.

La latencia en Internet no es manejable porque la infraestructura de red es de un tercero, sin embargo, los tiempos dentro de nuestra red interna si son manejables, para que la latencia no sea alta es necesario tener en consideración las características técnicas de los equipos de red, es decir, que el ancho de banda sea acorde al tráfico que va fluir por aquella interfaz para que esto no retrase a los paquetes que están en el buffer, de igual forma revisar parámetros como throughput, CPU Load, efficiency, etc. Otra técnica es implementar QoS para tratar a los paquetes de acuerdo con su nivel de sensibilidad (prioridad).



Ilustración 21. Latencia hacia 8.8.8.8

(Autor)

En la Ilustración 21, podemos ver que el promedio de latencia hacia el DNS de Google (8.8.8.8) está en 53 ms, lo cual es ideal. La carga del CPU se encuentra como se muestra en la Ilustración 22.

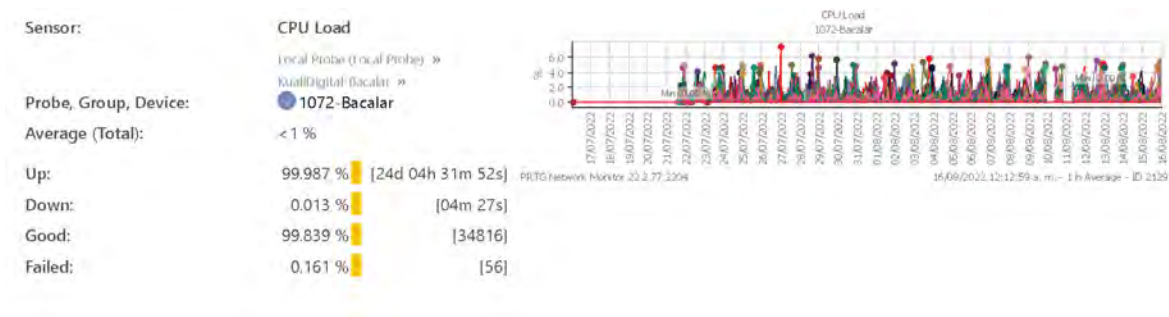


Ilustración 22. CPU Load CCR 1072

(Autor)

5.2 NView

NView es un sistema de gestión de nodos basado en el protocolo SNMP desarrollado por Beijing Raisecom Technology Co. LTD, NView está orientado a la red de acceso y busca la configuración centralizada de los dispositivos gestionables de la familia Raisecom. Este sistema realiza las siguientes funciones:

- Gestión de la topología
- Gestión de la configuración
- Gestión de alarmas
- Gestión de rendimiento

- Gestión de usuarios

Esta herramienta implementada será la que se encargue de mostrar el estado de los usuarios que están conectados a la red FTTH GPON, todo esto a través de la ONT a OLT a NView.

En este caso se usa como ejemplo el servicio de un usuario final específico, durante el periodo comprendido del 5 de mayo de 2022 al 14 de junio de 2022.

5.2.1 Fiberlenth

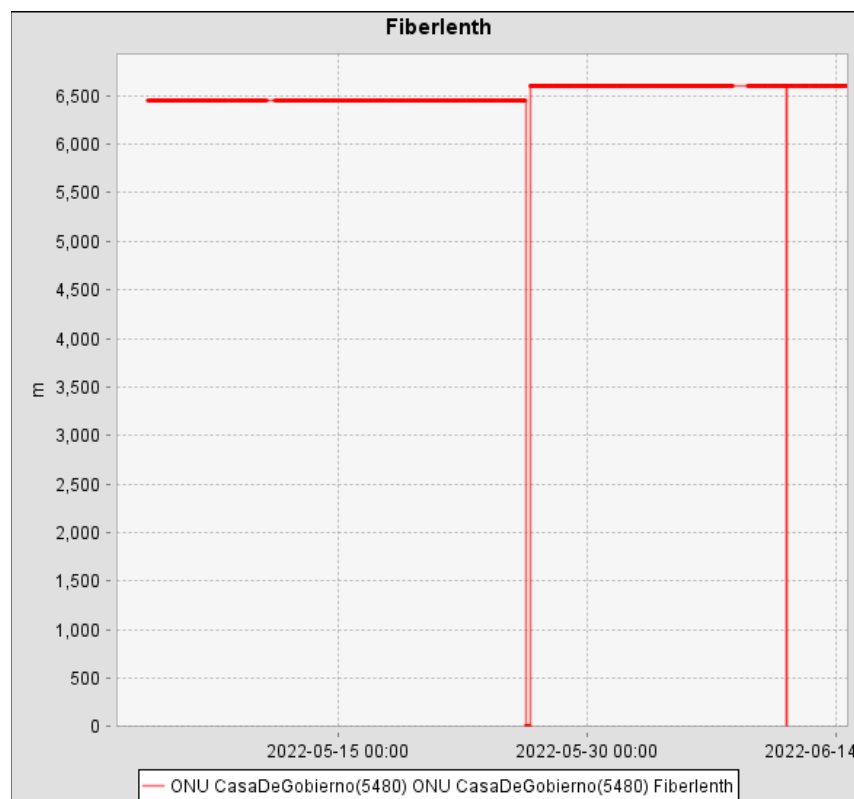


Ilustración 23. Fiberlenth

(Autor)

La Ilustración 23 muestra la potencia recibida por la ONT dentro de la red GPON FTTH, se puede observar que este parámetro se ha desarrollado de manera casi uniforme a excepción del 26 de mayo por un corte de fibra en un brazo de fibra óptica secundario y el 6 de junio por una falla eléctrica en la oficina central.

5.2.2 Byte rate

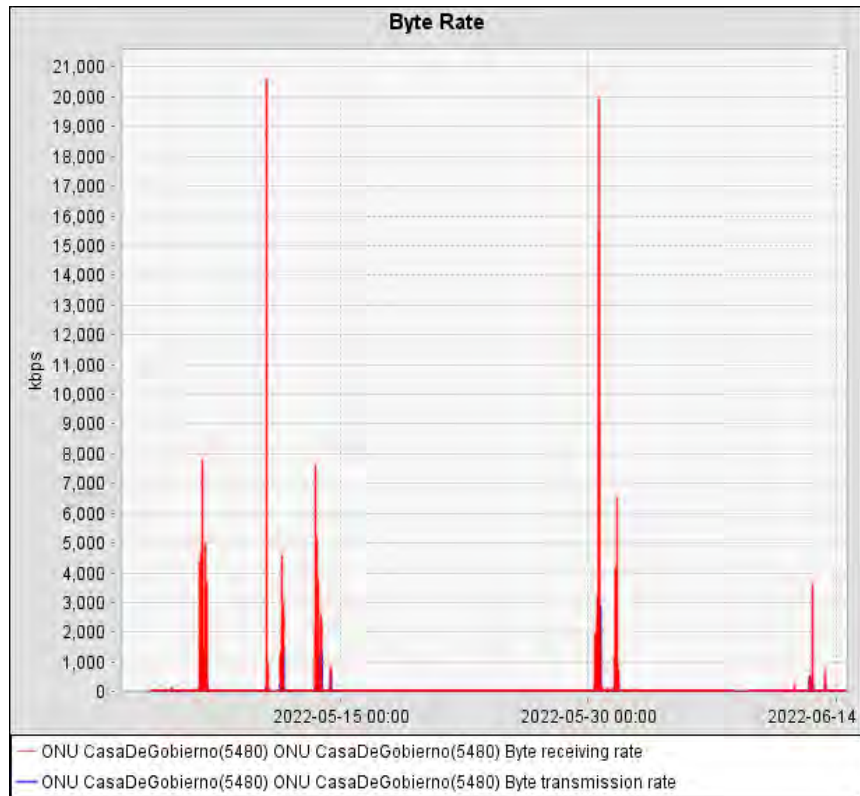


Ilustración 24. Byte rate

(Autor)

La Ilustración 24 muestra la tasa en kbps que ha estado utilizando el usuario final en la red GPON, tanto de subida como bajada. En general, el pico máximo ronda cerca de los 21,000 kbps y este no es uniforme.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIÓN

El proyecto culmina de manera exitosa proporcionando servicios Triple Play a los usuarios finales del municipio de Othón. P Blanco y Bacalar, estos a su vez son monitoreados 24/7 los 365 días del año. Los usuarios podrán acceder a los servicios que proporciona Internet sin temor a que el ancho de banda no sea suficiente.

El estándar GPON definido por la ITU-T en la recomendación G.984.X presenta las bases para que las redes de acceso, enfocadas al comercio minorista sean de alta velocidad, facilitando a su vez el acceso a Internet a los usuarios más distantes.

GPON nos abre las puertas a seguir escalando en el ámbito de las telecomunicaciones y hacer uso de tecnologías de vanguardia.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrawal, G. P. (2010). *Fiber-Optic Communications Systems* (Vol. Fourth Edition). United States: JOHN WILEY & SONS, INC.
- Boquera, E. M. (2005). *Comunicaciones Ópticas*. Diaz de Santos.
- Forouzan, B., & Chung Fegan, S. (2010). *Data Communications and Networking* (Fourth Edition ed.). The McGraw-Hill Companies.
- Grazzini, H. O. (2020). *Fibras ópticas: Conceptos Teóricos y Aplicaciones Prácticas*. Jorge Sarmiento Editor - Universitas. Retrieved from <https://elibro.net/es/ereader/uqroo/175155>
- ITU-T G.983.1. (2005). *Sistemas de acceso óptico de banda ancha*. Rec. UIT-T G.983.1 (01/2005).
- ITU-T G.984.1. (2003). *Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales*. Rec. UIT-T G.984.1 (03/2003).
- ITU-T G.984.2. (2019). *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Physical media dependent (PMD) layer specification*. Rec. ITU-T G.984.2 (08/2019).
- ITU-T G.984.3. (2014). *Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Transmission convergence layer*. Rec. ITU-T G.984.3 (01/2014).
- ITU-T G984.4. (2008). *Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): ONT management and control*. Rec. ITU-T G.984.4 (02/2008).
- Nokia. (2015). *Routing Protocols Guide*. Documentation Nokia (N° Service Router, Release 13.0.R4). Retrieved from https://documentation.nokia.com/html/0_add-h-f/93-0074-HTML/7750_SR_OS_Routing_Protols_Guide/index.html#
- Odom, W. (2019). *CCNA 200-301 Official Cert Guide* (Vol. 1). Pearson.
- Paulucci, E. (2013). *Generación y procesamiento de señales ópticas coherentes mediante sistemas de fibra óptica*. Centro de investigaciones Ópticas CIOp (CONICET - CIC).
- Radicelli, C., Pomboza, M., Villacrés, E., & Samaniego, N. (2019). *Red óptica pasiva para proveer de internet a la ciudad de Riobamba - Ecuador*. Revista Espacios. Retrieved from <https://www.revistaespacios.com/a19v40n40/a19v40n40p12.pdf>
- Raisecom. (2014). *ISCO5508-GP (A) Hardware Description (Rel_03)*. Raisecom SU. Retrieved from <https://www.raisecom.su>
- Raisecom. (2018). *ISCOM HT803G-WS2 Optical Access Terminal*. Proficomms (Rel_01). Retrieved from

[https://www.proficomms.cz/files/datasheets/Raisecom/RC_DS_ISCOM%20HT803G-WS2%20\(T\)%20\(Rel_01\).pdf](https://www.proficomms.cz/files/datasheets/Raisecom/RC_DS_ISCOM%20HT803G-WS2%20(T)%20(Rel_01).pdf)

Schiller, J. (2003). *Mobile Communications* (Second ed ed.). Pearson Education Limited.

Stallings, W. (2005). *Wireless Communications and Networks* (Second ed ed.). Pearson Prentice Hall.

Stallings, W. (2009). *Data and Computer Communications* (Eighth ed ed.). Pearson Prentice Hall.

Tanenbaum, A. S., & Wheterall, D. (2010). *Computer Networks* (5th ed ed.). Pearson.

UUNET, Technologies Inc; RedBack , Networks Inc; RouterWare, Inc;. (1999). *A Method for Transmitting PPP Over Ethernet (PPPoE) (RFC 2516)*. RFC-Editor. Retrieved from <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2516.html>