



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO FASE I

MIGRACION RED GPON PARA PROVEEDORES DE SERVICIO

INALÁMBRICO (WISP)

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR:

20911368 OSCAR ANTONIO PEGGO RUIZ

ASESOR: ING. ANA REYES

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre que ha sido mi mayor apoyo, motivador para continuar cada día en este difícil y largo trayecto de formación universitaria

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por tener este sueño de ser ingeniero y por guiar mis pasos para alcanzar mis sueños y metas.

Agradezco a mi madre por su máximo apoyo, esfuerzo y motivación. Agradezco también a demás familiares que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta con cada aporte que ahora se ve reflejado con la culminación de mi carrera universitaria.

Agradezco a catedráticos por su dedicación y por brindarnos los conocimientos que permitieron este nuevo logro en mi vida. Agradezco a la asesora Ing. Ana Cristina Reyes por brindarme los mejores consejos y asesoría para permitirme desarrollar esta investigación con profesionalismo y calidad.

A la Universidad Tecnológica de Centroamérica (UNITEC), por el apoyo y conocimiento brindado durante todos estos años, formándome como profesional de excelencia.

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo principal de este proyecto de investigación es diseñar una red Óptica Pasiva con Capacidad Gigabit (GPON) para proveedores de internet inalámbrico que les permita migrar parcial o completamente a una red más confiable, inmune a interferencias electromagnéticas, con mayor disponibilidad y proporcionar anchos de banda mayor a clientes.

Actualmente los proveedores de servicio de internet inalámbrico cuentan con una infraestructura de red que solo les permite proporcionar bajos anchos de banda a sus clientes debido a la limitante de la tecnología inalámbrica razón importante para migrar a una infraestructura de red Gpon que permita brindar altas capacidades de datos y que además sea libre de interferencia electromagnética.

Las tecnologías abordadas en el marco teórico son el espectro electromagnético que representa el rango de frecuencias que abarcan la energía electromagnética y la fibra óptica de uso ampliamente en los sistemas de telecomunicaciones, debido a que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia y a altas velocidades. Los proveedores de internet inalámbrico operan sus equipos tanto en 2.4 GHz y 5 GHz. Las redes ópticas pasivas cuentan arquitectura de punto a multipunto con velocidades de 1.2 Gbps en upstream y 2.4 Gbps para downstream.

Esta tesis se ha desarrollado de acuerdo a las pautas de la investigación no experimental y, por tanto, es de tipo cuantitativa, con un alcance de la investigación descriptivo ya que se busca especificar y medir propiedades tales como anchos de banda, atenuaciones en la cobertura y presupuesto para lo compra de equipos, materiales e instalación del despliegue de la red Gpon.

Para realizar el diseño de la red Gpon se determinó la ciudad de Choloma con cobertura en sus colonias centrales. Este diseño de red fue basado en dos etapas de splitter con capacidad para 256 usuarios con anchos de banda garantizados para cada usuario de 38.875Mbps. Para validar el diseño se realizó el cálculo de atenuación en cada punto donde se pretende tener cobertura. Al mismo tiempo se presupuestó los costos de todos los materiales, equipos y accesorios. Finalmente, la presente tesis sugiere que se considerarse las zonas con mayor densidad de clientes, realizar un estudio económico de las zonas de cobertura. Así como también capacitar al personal técnico y de ingeniería sobre redes de fibra óptica.

ABSTRACT

The main objective of this research project is to design a Gigabit Passive Optical Network (GPON) for wireless internet providers to enable them to migrate partially or completely to a more reliable network, immune to electromagnetic interference, with higher availability and provide higher bandwidths to customers.

Currently, wireless internet service providers have a network infrastructure that only allows them to provide low bandwidth to their customers due to the limitation of wireless technology. This is an important reason to migrate to a Gpon network infrastructure that allows for high data capacities and that is also free of electromagnetic interference.

The technologies addressed in the theoretical framework are the electromagnetic spectrum, which represents the range of frequencies covered by electromagnetic energy and optical fiber widely used in telecommunications systems, because they allow sending large amounts of data over long distances and at high speeds. Wireless Internet providers operate their equipment at both 2.4 GHz and 5 GHz. Passive optical networks have point-to-multipoint architecture with speeds of 1.2 Gbps upstream and 2.4 Gbps downstream.

This thesis has been developed according to the guidelines of the non-experimental research and, therefore, it is of quantitative type, with a scope of the descriptive research since it looks for to specify and to measure properties such as bandwidths, attenuations in the coverage and budget for the purchase of equipment, materials and installation of the Gpon network deployment.

In order to design the Gpon network, the city of Choloma was determined to have coverage in its central colonies. This network design was based on two stages of splitter with capacity for 256 users with guaranteed bandwidth for each user of 38.875Mbps. To validate the design, attenuation calculations were made at each point where coverage is intended. At the same time, the costs of all materials, equipment and accessories were budgeted.

Finally, this thesis suggests that the areas with the highest density of customers should be considered, and that an economic study of the coverage areas should be carried out. As well as training technical and engineering staff on fiber optic networks.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema	2
2.1	Precedentes del Problema	2
2.2	Definición del Problema	2
2.3	Justificación	2
2.4	Preguntas de Investigación	3
2.5	Objetivos.....	3
2.5.1	Objetivo General.....	3
2.5.2	Objetivos Específicos.....	3
III.	Marco Teórico.....	4
3.1	Anchos de banda que proveen los WISP.....	4
3.2	Espectro Electromagnético	5
3.3	Ancho de Banda y Ruido	6
3.4	Normas y Estándares Inalámbricos	9
3.4.1	IEEE 802.11	10
3.4.2	IEEE Wimax 802.16.....	13
3.5	Enlaces Inalámbricos.....	15
3.5.1	Elementos de un Enlace de Datos.....	16
3.5.2	Frecuencias licenciadas y no licenciadas	18
3.5.3	Frecuencias 2.4 GHz y 5GHz.....	19
3.6	Fibra Óptica	20
3.6.1	Modos de Propagación.....	20
3.6.2	Redes Ópticas	22
3.6.3	Red Óptica con Capacidad Gigabit (GPON).....	24
3.6.4	Arquitectura red GPON	25
3.6.5	Cálculo presupuesto de atenuación óptica	26
IV.	Metodología.....	28
4.1	Enfoque.....	28
4.1.1	Hipótesis	28
4.2	Variables de Investigación	29
4.3	Técnicas e Instrumentos Aplicados	30

4.4	Población y Muestra.....	30
4.5	Metodología de Estudio	31
4.5.1	Estudio de la localidad piloto.....	31
4.5.2	Planeación y Diseño de la red.....	31
4.6	Cronograma de Actividades.....	33
V.	Resultados y Análisis.....	34
5.1	Cobertura y atenuación	34
5.2	Presupuesto de costo de equipos, materiales e instalación.	36
5.3	Ancho de Banda.....	39
VI.	Conclusiones	42
VII.	Recomendaciones.....	43

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1- Uso del Espectro en San Pedro Sula	4
Ilustración 2- Espectro Electromagnético.....	5
Ilustración 3- Longitud de onda, amplitud y frecuencia	5
Ilustración 4- Ancho de banda de un enlace inalámbrico	6
Ilustración 5- Señal sin ruido (izquierda) vs señal con ruido(derecha).....	7
Ilustración 6- Ruido en el espectro generado por antenas sectoriales de diferentes WISP.....	8
Ilustración 7- SNR.....	9
Ilustración 8- Estructura de capas 802.11.....	10
Ilustración 9- CSMA/CA Redes Inalámbricas	11
Ilustración 10- Espectro de potencia de las subportadoras individuales de la forma de onda OFDM.	12
Ilustración 11- Aplicaciones para punto multipunto Wimax	14
Ilustración 12- Ptp y PtMP	15
Ilustración 13- Zona de Fresnel Fuente: (RF Elements, 2019)	16
Ilustración 14- Relación pérdidas en la trayectoria 2.4 GHz y 5 GHz	16
Ilustración 15- Relación modulación con anchos de banda	17
Ilustración 16- TDMA 802.11.....	18
Ilustración 17- Canales utilizados en la banda de 2.4 GHz	19
Ilustración 18- Canales utilizados en la banda de 5 GHz	19
Ilustración 19- Estructura de una Fibra Convencional	20
Ilustración 20- Modos de Propagación a) Mono modal b) Multimodal	20
Ilustración 21- Núcleo de fibra monomodo y multimodo	21
Ilustración 22- Configuraciones de cable de fibra óptica: (a) construcción suelta en tubo; (b) fibra restringida; (c) fibras múltiples; (d) cable telefónico; (e) cable de sílice revestida de plástico	22
Ilustración 23- Multiplexación por división de longitud de onda.....	22
Ilustración 24- WDM Punto a punto.....	23
Ilustración 25- Evolución de las redes de datos ópticas	23
Ilustración 26- Tráfico Downstream y Upstream.....	26
Ilustración 27- Topología típica de una red GPON.....	27
Ilustración 28- Diagrama variable dependiente y variables independientes	29
Ilustración 29- Mapa del municipio de Choloma.....	31
Ilustración 30- Despliegue red GPON.....	32
Ilustración 31- Despliegue red GPON utilizando otros hilos de fibra.	32
Ilustración 32- Despliegue red GPON.....	33
Ilustración 33- Esquema de red GPON	34
Ilustración 34- Esquema de trayectoria hasta al cliente	35
Ilustración 35- Relación atenuación distancia Fuente: Elaboración propia	36
Ilustración 36- Comparativa de costos	38
Ilustración 37- Elementos costos planta externa.....	39
Ilustración 38- Comparativa relación de ancho de banda con niveles de splitter	40

Ilustración 39-Ping entre Router a ONU	40
Ilustración 40-Latencia a servidores de Google	41
Ilustración 41-Ancho de Banda requerido por servicio.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1- Unidades Ancho de Banda.....	7
Tabla 2- Tecnologías Inalámbricas	10
Tabla 3 Capa física 802.11	11
Tabla 4-Tasa de Datos 802.11	12
Tabla 5-Modulaciones QAM	13
Tabla 6- Estándares WiMAX.....	13
Tabla 7-Modulaciones en equipos Ubiquiti	17
Tabla 8- Principales Frecuencias Licenciadas y No Licenciadas	18
Tabla 9- SMF Longitud de onda y atenuación	21
Tabla 10-Tecnologías PON.....	24
Tabla 11-Valores de Referencia ITU-T G 984.x	26
Tabla 12-Perdidas en Splitter.....	27
Tabla 17-Cronograma de Actividades	33
Tabla 13- Valores de atenuación.....	35
Tabla 14-Costos Planta Externa	37
Tabla 15-Costos de Instalación.....	38
Tabla 16-Costos Planta Interna.....	38

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-Longitud de onda.....	6
Ecuación 2-Relación señal a ruido.....	8
Ecuación 3-Zona de fresnel.....	16
Ecuación 4-Presupuesto de atenuación	27

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1-Planos con georreferencia.....	46
Anexo 2-Especificaciones OLT.....	47
Anexo 3-Especificaciones ONU.....	48
Anexo 4- Investigación sobre dispersión cromática máxima y mínima para fibras G.652.D...48	48
Anexo 5-Caja de distribución NAP	49

LISTA DE SIGLAS

ATM	Modo de Transferencia Asíncrono.
BPSK	Transmisión por Desplazamiento de Fase Binaria.
CPE	Equipo Local del Cliente.
CSMA/CA:	Acceso Múltiple con Prevención de Portadora y Colisiones.
DSSS	Espectro Ensanchado por Secuencia Directa.
FDD	Duplexación por División de Frecuencia.
GPON	Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit.
IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
ISP	Proveedor de Servicios de Internet
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones .
LAN	Red de Area Local.
MU-MIMO	Multiusuario, Entrada Múltiple, Salida Múltiple
NAP	Punto de Acceso de Red
NRZ	Codificación No Retorno a Cero
OADM	Multiplexor Óptico de Adición / Caída
OLT	Terminal de Línea Óptica
OM	Fibra Óptica Multimodo
OSI	Interconexión de Sistemas Abiertos.
OXC	Conexión Cruzada Óptica
PHY	Capa Física
QAM	Modulación De Amplitud En Cuadratura
TDD	Duplexación por División de Tiempo
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo
UNII	Infraestructura Nacional de Información No Licenciada
WDM	Multiplexación por División de Longitud de Onda
WISP	Proveedor de Servicios de Internet inalámbrico

I. INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones son una parte fundamental en la vida cotidiana de millones de personas ya que permite interactuar, conectar y compartir información desde cualquier punto del planeta. Esta red que nos conecta en segundos a diferentes ubicaciones en el mundo le llamamos internet. Son muchas las tecnologías y plataformas que nos da acceso al internet esto puede ser a través de cable coaxial, inalámbrico, cables de fibra óptica, telefonía celular 2G, 3G, LTE y recientemente 5G.

En la actualidad se ha incrementado el uso del medio inalámbrico para brindar conexión a internet tanto en las grandes ciudades como en las zonas rurales del país. Estas empresas que hacen uso del espectro electromagnético de banda libre en las frecuencias 2.4Ghz y 5Ghz son los proveedores de internet inalámbrico o conocidos más comúnmente como WISP.

Los proveedores de servicio de internet inalámbrico (WISP) que operan en frecuencias no licenciadas es decir de uso gratuito han sido una muy buena alternativa para brindar una conexión a internet, recientemente también se están enfrentado a nuevos retos como ser el ruido generado entre ellos por el uso del espectro y un reto mayor es la fiabilidad de su señal ante la alta demanda de datos que exigen los contenidos actuales de internet.

El objetivo principal de este proyecto de investigación es diseñar una red Óptica Pasiva con Capacidad Gigabit (GPON) en una localidad piloto que les permita a los proveedores de internet inalámbrico migrar parcial o completamente a una red más confiable, inmune a interferencias electromagnéticas, con mayor disponibilidad y proporcionar anchos de banda mayor a clientes.

Este informe de proyecto de graduación constará de varias secciones comenzando por el marco teórico donde se concentrará la información de la tecnología inalámbrica y todos los conceptos necesarios sobre fibra óptica que permitirá el desarrollo de la infraestructura de la red Gpon, las diferentes actividades para la creación del mismo finalizando con las conclusiones obtenidas y las recomendaciones, además en los anexos se encontrará las especificaciones técnicas de todos los equipos y terminales propuestos para el desarrollo de la red Gpon.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Esta sección representa la base de la investigación donde toma lugar la definición del problema y la justificación de dicho proceso, asimismo se establecen interrogantes de investigación que buscan ser resueltas mediante el establecimiento de objetivos que encaminan los procesos necesarios para la realización del proyecto.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Pequeños, medianos y grandes proveedores de servicio de internet inalámbrico han experimentado un crecimiento gradual de usuarios en su red lo que ha implicado mayor número de equipos operando, incrementando el uso del espectro electromagnético. Todo esto parece favorable, pero se encuentran en el punto donde el ruido en el espectro es mayor y la sobrecarga de usuarios conectados en los equipos estación base es elevado lo que conlleva a mayores niveles de latencia impidiendo brindar anchos de banda mayor que demanda los contenidos actuales del internet.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los proveedores de servicio de internet inalámbrico con la infraestructura actual de red solo pueden proporcionar bajos anchos de banda a sus clientes debido a la limitante de la tecnología inalámbrica y la poca confiabilidad que proporciona el medio inalámbrico debido a la saturación del mismo.

2.3 JUSTIFICACIÓN

Es importante migrar a una infraestructura de red Gpon que permita brindar altas capacidades de datos y que además sea libre de interferencia electromagnética que condicione su funcionamiento. Las redes GPON garantizan la escalabilidad y la flexibilidad necesarias para cambiar y ampliar las redes, reduciendo su latencia y aumentando su confiabilidad.

“El tráfico crece continuamente en la región, gracias al consumo de datos provocado por el acceso a streaming de vídeo, servicios OTT - como Netflix y YouTube - y redes sociales, tales como el Instagram y el Facebook”, (Fiber Broadband, 2019, pág. 11).

Con una red Óptica Pasiva con Capacidad Gigabit (GPON) los proveedores de internet inalámbrico dan un paso adelante migrando su red a fibra óptica garantizando proporcionar altos anchos de banda que demanda las plataformas de videojuego online, la plataforma de video streaming y el contenido de alta calidad de las redes sociales.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuáles son los anchos de banda que puede proporcionar este diseño de red Gpon?
- ¿Cuáles son los valores de atenuación óptica en puntos donde se pretende tener cobertura en la parte central de la ciudad de Choloma?
- ¿Cuál es el costo de instalación, materiales y equipos necesarios en la red Gpon?

2.5 OBJETIVOS

En esta sección se establece el objetivo general es decir la finalidad central de la investigación que direccionará el desarrollo de la misma. Los objetivos específicos permiten responder las preguntas de investigación planteadas anteriormente y describen con detalle cómo alcanzar el objetivo general.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una red Óptica Pasiva con Capacidad Gigabit (GPON) en la localidad mediante el cálculo de la atenuación en los puntos de cobertura, la determinación de los materiales, elementos y equipos necesarios para el diseño, mismos que serán considerados para presupuestar el costo total que conlleva la compra e instalación, todo esto con el fin de migrar parcial o completamente a una red óptica que garantizará ofrecer servicios de anchos de banda mayor.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular los anchos de banda que proporcionará la red según el diseño propuesto.
- Calcular la atenuación óptica en puntos donde se quiere tener cobertura en la localidad.
- Presupuestar el costo de instalación, compra de materiales y equipos necesarios de la red GPON.

III. MARCO TEÓRICO

“El marco teórico, en una investigación, es el eje de la misma y da unidad a toda la investigación, encuadrando el problema y orientando el diseño metodológico” (Daros, 2002, pág. 100). Este capítulo presenta el desarrollo de la teoría y las fuentes consultadas en relación al tema de estudio de esta investigación. Se comienza con una descripción de los anchos de banda que proporcionan los proveedores de internet inalámbrico. Luego se detallan las teorías, conceptos del espectro electromagnético y estándares inalámbricos. Para finalizar se expone la teoría sobre fibra óptica y elementos de la infraestructura de la red Óptica Pasiva con Capacidad Gigabit (GPON).

3.1 ANCHOS DE BANDA QUE PROVEEN LOS WISP.

Generalmente los proveedores de internet inalámbrico cuentan con ciertos planes de ancho de banda para sus clientes entre ellos están 2Mb, 3Mb, 5Mb, 6Mb y 8Mb todos estos anchos de banda son compartidos y distribuidos con equipos estacion base (radio más sector de diversas aperturas). Por experiencia en el área y por recomendación de los fabricantes se sugiere conectar entre 20 a 30 clientes (CPE) a cada estación base ya que los equipos tienden a procesar más datos lo que ocasiona un aumento en el CPU.

Se debe mencionar también que en las ciudades principales el uso del espectro ha crecido exponencialmente y esto obliga a los proveedores de internet inalámbrico a operar sus equipos en frecuencias de 5 GHz y con anchos de canal 20 MHz. En la ilustración 1 se puede apreciar la cobertura inalámbrica en la ciudad de San Pedro Sula.



Ilustración 1- Uso del Espectro en San Pedro Sula
Fuente: (Tower Coverage, 2020)

3.2 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

El espectro electromagnético es el rango de frecuencias y longitudes de onda que abarcan la energía electromagnética comenzando desde las frecuencias más bajas como las bandas de audio, radio frecuencia finalizando con las frecuencias más altas como ser las bandas de fibras ópticas (visible, infrarrojo), rayos x y rayos gamma de acuerdo a la ilustración 2.

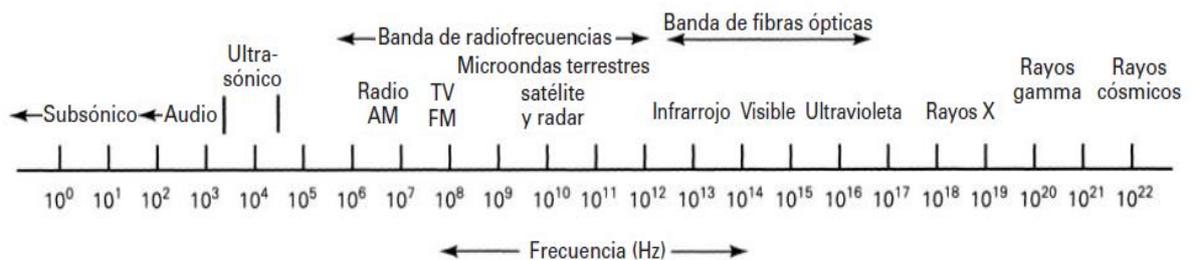


Ilustración 2-Espectro Electromagnético

Fuente: (Tomasi, 2003)

Estas ondas electromagnéticas que viajan y se propagan en el espacio cuentan con varios elementos y características (ver ilustración 3), entre ellas la longitud de onda que es representada por la letra griega lambda λ es la distancia que existe entre dos crestas consecutivas.

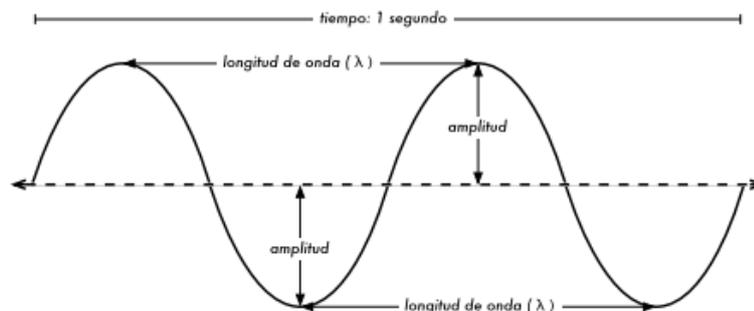


Ilustración 3-Longitud de onda, amplitud y frecuencia

Fuente: (Flickenger, 2008)

Una característica importante de las ondas electromagnéticas es su frecuencia se mide en Hertz(Hz) y es el número de ciclos periódicos de una onda electromagnética en un segundo. La frecuencia se relaciona inversamente con la longitud de onda ya que a medida se aumenta la frecuencia la longitud de onda es menor, en la ecuación 1 se expresa matemáticamente esa relación y solo hace falta mencionar que c representa la velocidad de la luz (300,000,000 m/s).

Otra propiedad importante en una onda es su amplitud. Esta es la máxima distancia que alcanza la onda con respecto a la posición de equilibrio es decir desde un punto central de la onda a una cresta. Estas crestas pueden encontrarse en cuadrantes positivos o negativos de la gráfica de la onda.

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Ecuación 1- Longitud de onda

Fuente (Tomasi, 2003)

3.3 ANCHO DE BANDA Y RUIDO

“Las dos limitaciones más importantes en el funcionamiento de un sistema de comunicaciones son el ruido y el ancho de banda” (Tomasi, 2003, pág. 8). En un medio o canal de comunicación el ancho de banda representa una diferencia entre un rango de frecuencias medido en Hertz.

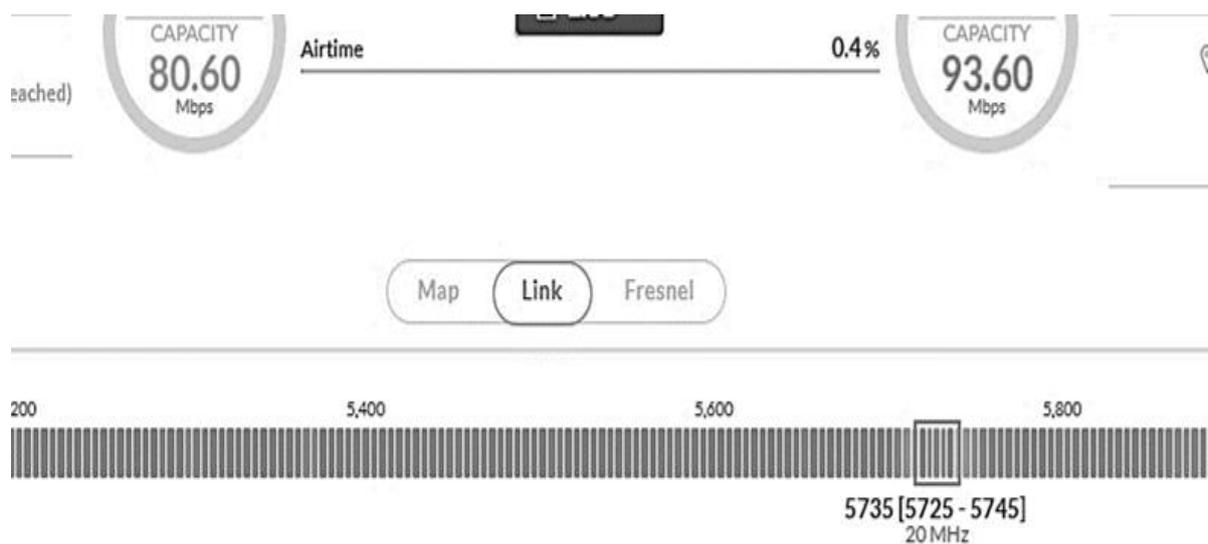


Ilustración 4-Ancho de banda de un enlace inalámbrico

Fuente: Elaboración propia.

En un enlace inalámbrico punto a punto o punto a multipunto el ancho de banda se hace referencia al ancho de canal elegido, los anchos de canal que se pueden seleccionar van desde 10,20,40 hasta los 80MHz. Para enlaces punto a multipunto los anchos de canal más utilizados son de 20 MHz y para enlaces punto a punto se seleccionan anchos de 40 MHz. Esta selección de anchos de canal depende del estándar de comunicación inalámbrico que se detalla más adelante y la situación del ruido en el espectro.

El ancho de banda también está relacionado con la capacidad de un medio para transportar datos desde un lugar hacia otro en un período de tiempo determinado y según el medio físico se va a transferir a distintas velocidades. Los anchos de banda generalmente se miden en kilobits por segundo (kbps), megabits por segundo (Mbps) o gigabits por segundo (Gbps).

Tabla 1- Unidades Ancho de Banda

Unidad de ancho de Banda	Abreviatura	Equivalencia
Bits por segundo	bps/s	1 bps = unidad fundamental de ancho de banda
Kilobits por segundo	Kbps/s	1 Kbps = 1000 bps= 10^3 bps
Megabits por segundo	Mbps/s	1 Mbps = 1 000 000 bps= 10^6 bps
Gigabits por segundo	Gbps/s	1 Gbps = 1 000 000 000 bps= 10^9 bps
Terabits por segundo	Tbps/s	1 Tbps = 1 000 000 000 000 bps= 10^{12} bps

Fuente: (Cisco, 2013)

3.3.1 RUIDO INTERNO Y EXTERNO

El ruido se define como aquella interferencia no deseable en el medio que afecta la señal, el ruido puede clasificarse en ruido externo y ruido interno. Tomasi (2003) afirma que “el ruido externo es el que se genera fuera del dispositivo o circuito. Hay tres causas principales del ruido externo: atmosféricas, extraterrestres y generadas por el hombre.” (pág. 34).

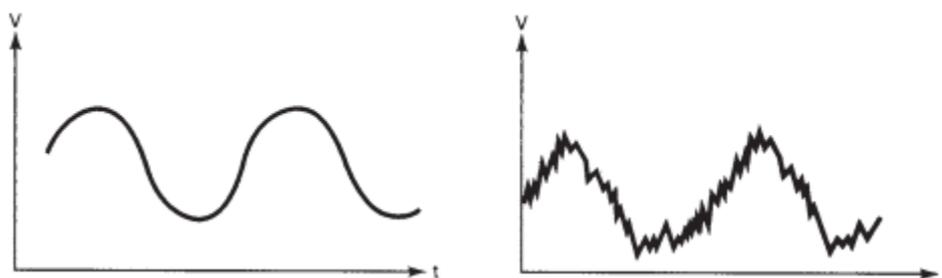


Ilustración 5-Señal sin ruido (izquierda) vs señal con ruido(derecha).

Fuente: (Tomasi, 2003)

El ruido externo corresponde al que se genera en un punto del sistema como consecuencia de acoplamiento eléctrico o magnético con otro punto del propio sistema, o con otros sistemas naturales o contruidos por el hombre. Una de las principales fuentes de ruido

externo en el espectro electromagnético no licenciados viene de varios proveedores de internet inalámbrico que operan sus equipos en frecuencias similares o continuas a la competencia. Debido al incremento del ruido externo se evita utilizar antenas omnidireccionales, se desarrollan antenas con blindaje y también se fabrican antenas de menor apertura como ser de 30 grados o 40 grados.

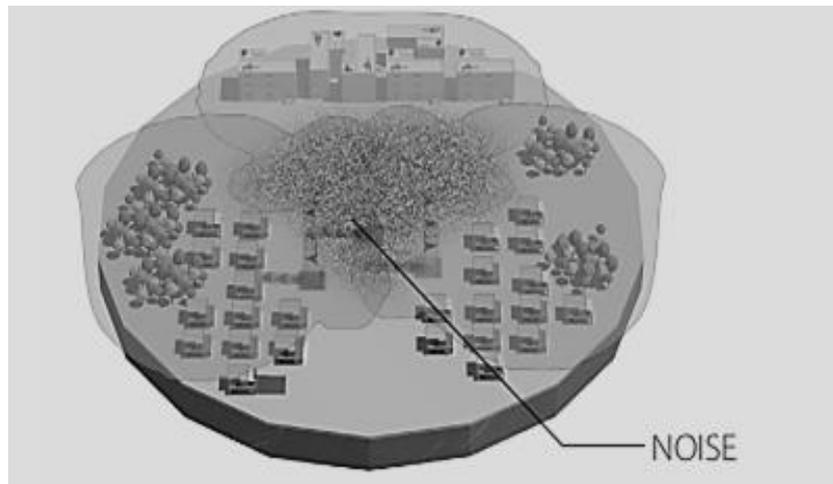


Ilustración 6-Ruido en el espectro generado por antenas sectoriales de diferentes WISP.

Fuente: (RF Elements, 2019)

El ruido interno es aquel ruido generado por los propios equipos debido a los diferentes componentes y circuitos electrónicos que le conforman. El SNR es un ruido interno y una propiedad inherente relacionada con el tamaño del ancho de banda de un canal inalámbrico. La relación señal/ruido o SNR se define como la proporción existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que se genera durante su paso por los diferentes componentes del sistema.

$$SNR = \frac{S}{N}$$

Ecuación 2-Relación señal a ruido

Fuente: (Montoya-Castro, Herrera-Duran, & Barrera-Ramírez, 2017)

Castro Lechtaler (2013) expresa el teorema de Shannon-Hartley “la capacidad máxima de un canal real depende del ancho de banda del mismo y de la relación señal a ruido (SNR) que posee” (pág. 320).

Cuanto mayor sea el ancho del canal, mayor es el nivel de ruido térmico. En teoría, conforme el SNR o ancho de canal aumenta, la capacidad de datos también aumenta, pero esto también crea un alto potencial para encontrar más interferencia a través del canal. En el rango de frecuencias de 5 GHz utilizados en enlaces inalámbricos es más común usar anchos de canal de 40 MHz.

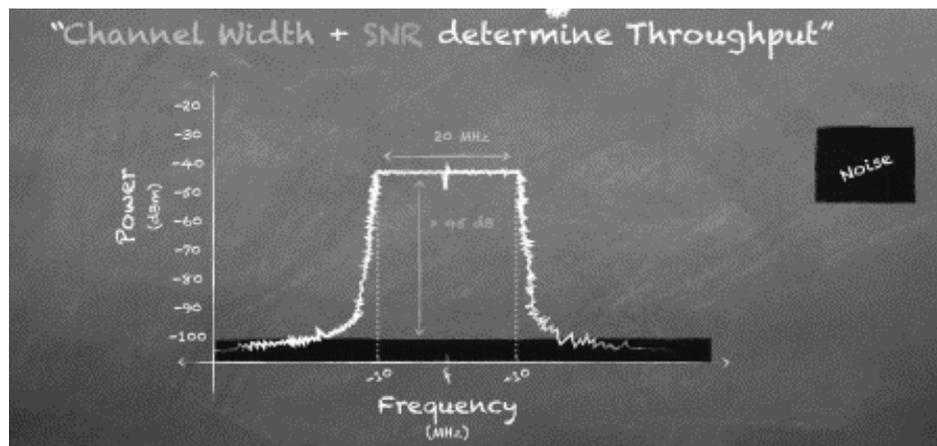


Ilustración 7-SNR

Fuente: (Ubiquiti, 2017)

3.4 NORMAS Y ESTÁNDARES INALÁMBRICOS

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) es una asociación mundial de ingenieros dedicada a la normalización y estandarización de tecnologías. Sobre las comunicaciones inalámbricas de datos estos estándares abarcan la capa física y de enlace de datos. Estos estándares y normas detallan especificaciones tales como:

- Codificación de señales de datos a señales de radio.
- Frecuencia e intensidad de la transmisión.
- Requisitos de recepción y decodificación de señales.
- Diseño y construcción de antenas.

Las redes inalámbricas se pueden dividir en varios tipos según su área de cobertura:

- WLAN (Wireless Local Area network) son redes inalámbricas con un radio menor a los cien metros, generalmente usado en entornos del hogar u oficina.
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) diseñadas para cubrir áreas más grandes.

- WWAN: Wireless Wide Area Network: redes para entornos más extensas que pueden cubrir áreas más extensas como ciudades o municipios.
- WPAN (Wireless Personal Area Network): para interconectar dispositivos de un área de trabajo de un individuo.

Tabla 2- Tecnologías Inalámbricas

Red	WWAN	WMAN	WLAN	WPAN
Estándar	GSM/GPRS/UMTS	IEEE 802.16	IEEE802.11	IEEE 802.15
Nombre	2G/3G/4G	WiMAX	Wifi	Bluetooth
Velocidad	9.6/170/2000 Kb/s	15.134 Mb/s	1-2-11-54-300-1000Mb/s	721 Kb/s
Frecuencia	0.9/1.8/2.1 GHz	2-66 GHz	2.4 & 5 GHz	2.4 GHz
Distancia	Limitado por celdas	1.6 - 50 Km	30 - 150 m	10 m
Modulación	WCDMA	QPSK, OFDM, OFDMA	FHSS, DSSS, OFDM	FHSS
Itinerancia	Si	Si(802.16e)	Si	No

Fuente: (González Calvo, 2018)

3.4.1 IEEE 802.11

Se basa en tecnología de red LAN inalámbrica (WLAN) conocido generalmente como Wi-Fi, los estándares 802.11 definen las normas inalámbricas que rigen la comunicación entre una estación y un punto de acceso o entre dos o más estaciones. Se divide en dos capas principales la capa de enlace y la capa física o PHY tomando como referencia el modelo OSI

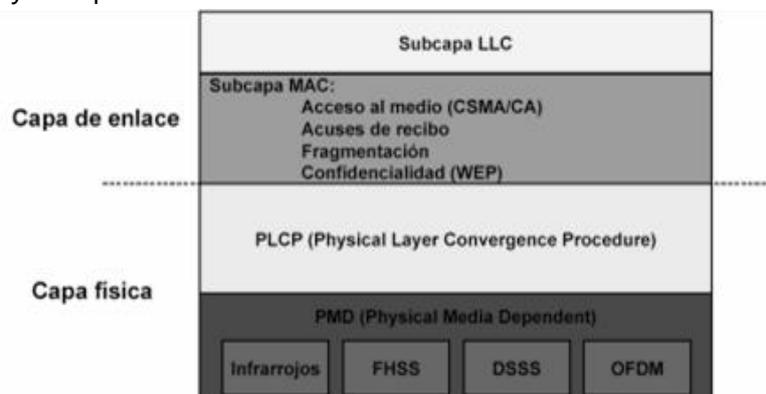


Ilustración 8-Estructura de capas 802.11

Fuente (Yunquera Torres, 2005)

En la capa de enlace WLAN utiliza un protocolo de contención conocido como acceso múltiple por detección de portadora con prevención de colisiones (CSMA/CA). Si la estación detecta que el medio está ocupado, demora su transmisión durante un período aleatorio después de que el medio vuelva a estar inactivo (ver ilustración 9). Por esta razón las estaciones compiten por el acceso al medio inalámbrico. Si en caso dos estaciones escuchan y transmiten simultáneamente, el punto de acceso experimentará una colisión y los datos deberán retransmitirse.

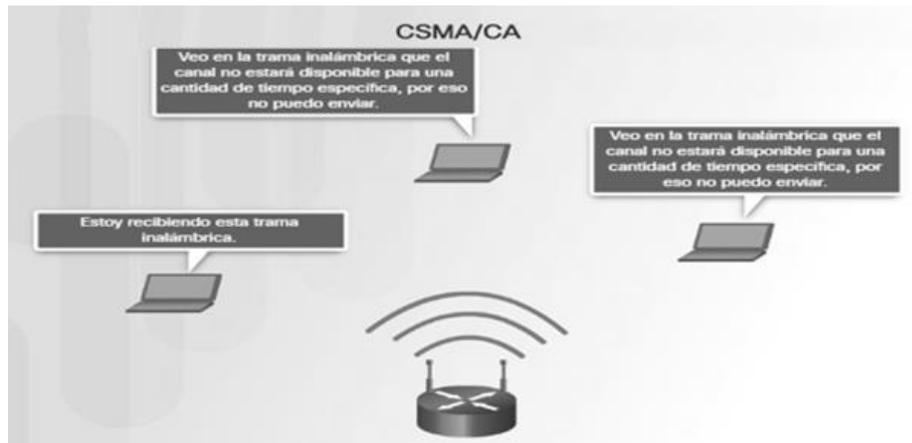


Ilustración 9-CSMA/CA Redes Inalámbricas

Fuente: (Cisco, 2013)

En las conexiones inalámbricas se pueden detectar dos principales problemas al momento de evitar colisiones el primer escenario es el nodo oculto donde una estación cree que el canal está libre sin embargo ya está en uso por una estación que no escucha. El otro escenario que se presenta es cuando una estación cree que el canal está ocupado, pero en realidad está libre pues el nodo al que escucha no le interfiere.

Tabla 3 Capa física 802.11

	802.11	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n	802.11ac
PHY technology	DSSS	DSSS/ CCK	OFDM	OFDM DSSS/ CCK	SDM/OFDM	SDM/OFDM MU-MIMO
Data rates (Mbps)	1.2	5.5, 11	jun-54	ene-54	6.5-600	6.5-6933.3
Frecuency band (GHz)	2.4	2.4	5	2.4	2.5 and 5	5
Channel Spacing MHz	25	25	20	25	20 and 40	20, 40, 80 and 160

Fuente: (Perahia & Stacey, 2013)

El estándar 802.11 en la capa física comenzó con DSSS (método de codificación de canal en espectro ensanchado) los siguientes se construyeron con CCK (código de modulación) que incremento la capacidad del medio a 11 Mbps. Las siguientes mejoras en el estándar implementaron OFDM lo cual ha incrementado las tasas de transmisión en el medio inalámbrico (véase tabla 3 y tabla 4 para las tasas de datos actuales).

Tabla 4-Tasa de Datos 802.11

Protocolo	Frecuencia	Ancho de canal	MIMO	Máxima tasa de datos teórica
802.11 ax	2.4 o 5GHz	20, 40, 80, 160MHz	MU-MIMO	2.4 Gbps
802.11 ac wave2	5 GHz	20, 40, 80, 160 MHz	MU-MIMO	1.73 Gbps
802.11ac wave1	5GHz	20, 40, 80MHz	SU-MIMO	866.7 Mbps
802.11n	2.4 o 5GHz	20, 40 MHz	SU-MIMO	450 Mbps
802.11g	2.4 GHz	20 MHz	N/A	54 Mbps
802.11a	5 GHz	20 MHz	N/A	54 Mbps
802.11b	2.4GHz	20 MHz	N/A	11 Mbps
Legacy 802.11	2.4GHz	20 MHz	N/A	2 Mbps

Fuente: (Intel, 2020)

OFDM (Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencias), es una técnica que codifica una transmisión en múltiples subportadoras ortogonales. El procedimiento consiste en tomar un canal y dividirlo en otros más pequeños, llamados subcanales. Cada subcanal se usará para transportar información en paralelo y podrá ser modulado de forma diferente.

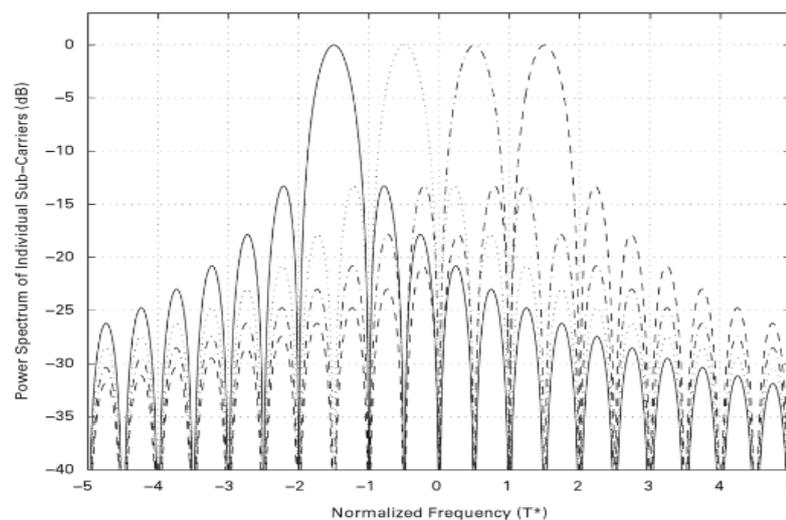


Ilustración 10-Espectro de potencia de las subportadoras individuales de la forma de onda OFDM.

Fuente: (Perahia & Stacey, 2013)

OFDM utiliza PSK modulación por desplazamiento de fase consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número finito de ángulos. Según el número de fases tomadas recibe las siguientes denominaciones: BPSK con dos fases, 4 QPSK (4 QAM) cuatros fases, 16 QAM 16 fases y así sucesivamente según tabla 5.

Tabla 5-Modulaciones QAM

Multiplicador	Esquema	Bits por símbolo
2x	QPSK	2
4x	16 QAM	4
5x	32 QAM	5
6x	64 QAM	6
7x	128 QAM	7
8x	256 QAM	8
9x	512 QAM	9
10x	1024 QAM	10

Fuente: (Gonzales, 2014)

3.4.2 IEEE Wimax 802.16

Wimax (Worldwide interoperability for Microwave Access) fue presentado por IEEE basado en los estándares 802.16-2004 y 802.16e2005. El estándar IEEE 802.16 WiMAX permite la transmisión de datos utilizando múltiples rangos de frecuencia y ha sido desarrollado para conexiones punto a punto o punto multipunto típicas en radioenlaces de microondas.

Tabla 6- Estándares WiMAX

	802.16	802.16a	802.16e
Frecuencia	10-66 GHz	<11 GHz	<6 GHz
Operación	LOS	NLOS	NLOS
Tasa de datos	32-134 Mbps con canales de 28 MHz	Hasta 75 Mbps con canales de 20MHz	Hasta 15 Mbps con canales de 5MHz
Modulación	QPSK 16 QAM 64 QAM	OFDM con 256 subportadoras QPSK 16 QAM, 64 QAM	QPSK 16 QAM 64 QAM
Ancho de Canal	20, 25 y 28 MHz	Selección entre 1.25 y 20 MHz	20, 25 y 28 MHz
Radio de celdas	2-5 Km	5-10 Km, Máximo 50 Km	7-8Km

Fuente: (García, Lloret, Edo, & Lacuesta , 2009)

Características de la tecnología WiMAX

- La capa física se basa en multiplicación por división de frecuencia ortogonal OFDM.
- Codificación, modulación adaptiva y soporta sistemas de modulación QAM.
- Soportar ambos esquemas de duplexación, TDD y FDD.
- Asignación dinámica y flexible de recursos por usuario: tanto en el enlace de subida como en el de baja

WiMAX nació como una tecnología inalámbrica diseñada para una red de área metropolitana con cobertura de 50 km. Bravo Torres (2010) mencionaba las aplicaciones, servicios y utilidades que se habían propuesto para las redes Wimax como ser transmisión de video, triple-play, aplicaciones militares.

Entre otras aplicaciones de la tecnología WiMAX encontramos:

- Tecnología de última milla para provisión de banda ancha.
- Conectividad en zonas rurales.
- Backhaul para infraestructuras de telecomunicaciones.
- Redes móviles.
- Conexiones dentro del campus universitario.
- Enlaces de larga distancia.

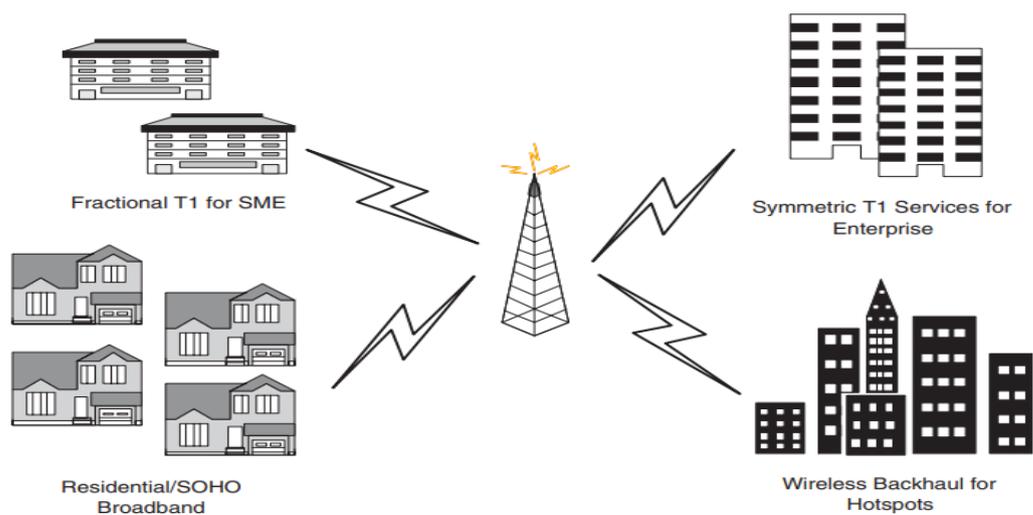


Ilustración 11-Aplicaciones para punto multipunto Wimax

Fuente: (Andrews, Ghosh, & Muhamed, 2007)

3.5 ENLACES INALÁMBRICOS

Los estándares 802.11 y 802.16 permiten realizar enlaces inalámbricos para proveer de conexión entre diferentes ubicaciones geográficas utilizando frecuencias licenciadas o de uso libre (no licenciadas). A través de estos enlaces inalámbricos se puede transportar datos, VoIP, IPTv y también proporcionar acceso al internet.

Componentes de un Enlace Inalámbrico:

- Estación Base(EB): Es el equipo principal de transmisión de una red punto a multipunto (PtMP).
- CPE(Estación): Es el radio local del cliente (última milla), el cual se conecta de forma inalámbrica a una EB.
- Backhaul o troncal: Es un radio enlace punto a punto (PtP) principal entre nodos principales de la red.

La función principal de un enlace troncal es realizar una conexión entre nodos. Los nodos representan puntos de red donde se concentra equipos que realizan diferentes funciones de procesamiento de datos, señalización y enrutamiento de datos. La última milla es la parte de acceso de la red para los clientes o usuarios finales.

Para brindar servicios inalámbricos de internet los WISP utilizan dos arquitecturas principales PtP y PtMP. Como se muestra en la ilustración 12 la conexión PtP se utiliza para conectar diferentes sitios o nodos por lo tanto el esquema de red PtMP sirve para la distribución inalámbrica hacia los clientes.

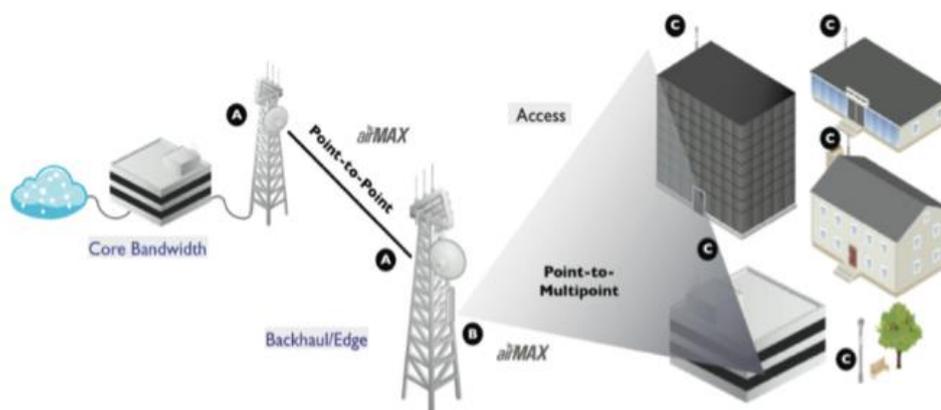


Ilustración 12-Ptp y PtMP

Fuente: (Ubiquiti, 2020)

3.5.1 ELEMENTOS DE UN ENLACE DE DATOS

En los enlaces inalámbricos PtP o PtMP se deben tener en cuenta diferentes elementos como ser la zona de fresnel, niveles de señal y la modulación. La zona de fresnel es una región elíptica que se crea entre el transmisor y el receptor por donde se propaga la señal de un enlace inalámbrico el cual debe estar libre de obstáculos para la estabilidad del enlace.

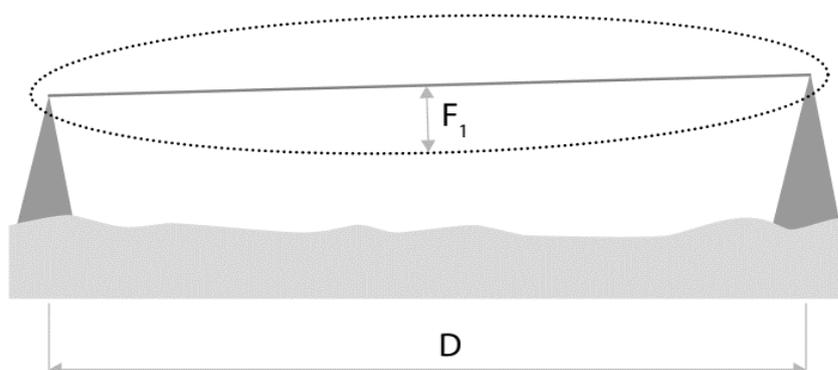


Ilustración 13-Zona de Fresnel

Fuente: (RF Elements, 2019)

$$F(\text{radio}) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{cD}{f}}$$

Ecuación 3- Zona de fresnel

Fuente: (RF Elements, 2019)

Donde F es el radio central de la zona de fresnel, c representa la velocidad de la luz, D es la distancia entre los puntos y f la frecuencia que se está utilizando en el enlace. Los fabricantes de los equipos utilizados en radio enlaces proporcionan herramientas para simular las zonas de fresnel.

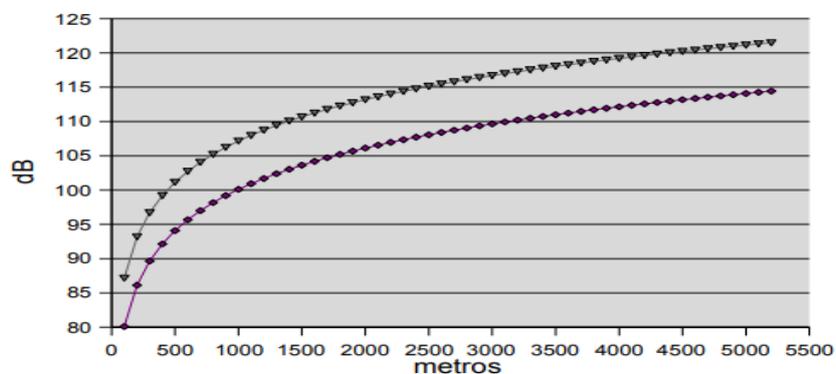


Ilustración 14-Relación pérdidas en la trayectoria 2.4 GHz y 5 GHz

Fuente: (Buettrich, 2007)

Las señales de radio que viajan por el espacio experimentan una atenuación llamada pérdidas de la propagación (FSPL). Con respecto a las frecuencias analizadas en la siguiente sección las frecuencias más altas (5GHz) presentan mayor atenuación en comparación a las más bajas (2.4GHz) relación que se muestra en la ilustración 16, lo que significa que las frecuencias más bajas son ideales para alcanzar mayores distancias.

Dentro de los elementos importantes para tener un buen enlace es la modulación esto dependerá de los niveles de señal que se obtienen. Los niveles óptimos de señales de recepción (Rx) en los enlaces según el fabricante Ubiquiti están entre -50 dBm a -65 dBm tanto en PtP como en PtMP.

Tabla 7-Modulaciones en equipos Ubiquiti

Capacidad	Modulación	airMAX M	airMAX AC	airFiber
La más alta	4096 QAM	.	.	-53dBm
.	1024 QAM	.	.	-59dBm
.	256 QAM	.	-65dBm	-65dBm
.	64 QAM	-66dBm	-74dBm	-71dBm
.	16 QAM	-72dBm	-80dBm	-77dBm
.	QPSK	-79dBm	-86dBm	-82dBm
La más baja	BPSK	-85dBm	-90dBm	-84dBm

Fuente: (Ubiquiti, 2017)

Para equipos PtMP donde se conectan los equipos CPE se puede utilizar la Tabla 7 y la ilustración 15 para analizar la modulación y el ancho de banda que pueden proporcionar los equipos estación base. Por ejemplo, un equipo AC con señal -65 dBm tiene una modulación 8x tiene una modulación 256QAM (tabla 5) tendría una capacidad de 140 Mbps para clientes.

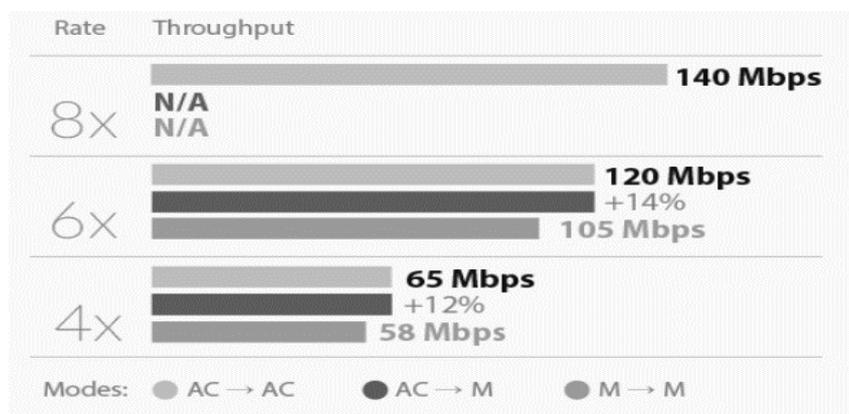


Ilustración 15-Relación modulación con anchos de banda

Fuente: (Ubiquiti, 2020)

Los equipos inalámbricos exteriores utilizan TDMA, para comprender como los equipos CPE se conectan a los equipos estación base e intercambian información se cita lo siguiente del fabricante:

El protocolo TDMA realiza un seguimiento de qué estaciones están activos y divide el tiempo aire disponible para esas estaciones, Por ejemplo, las estaciones inactivas pueden tener tiempo dedicado en el AP y no usarlo. El protocolo TDMA redistribuye el tiempo dedicado a estaciones activas para que el tiempo aire no sea desperdiciado. (Ubiquiti, 2014).

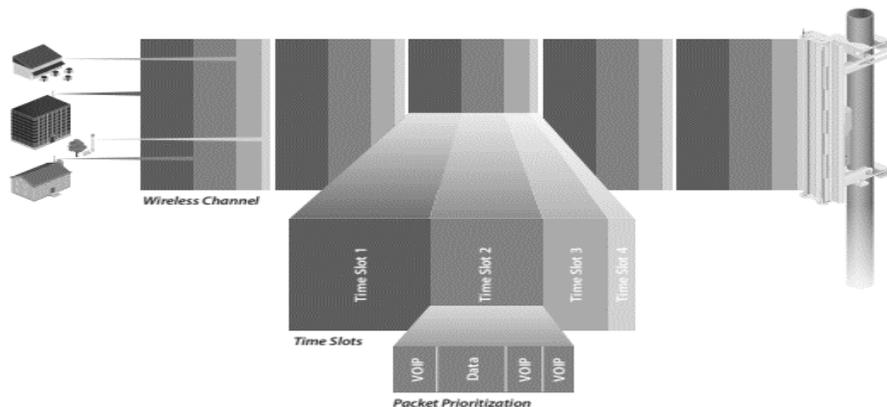


Ilustración 16-TDMA 802.11

Fuente: (Ubiquiti, 2014)

3.5.2 FRECUENCIAS LICENCIADAS Y NO LICENCIADAS

Para realizar enlaces inalámbricos se pueden usar frecuencias licenciadas que son aquellas en las que se necesita solicitar un permiso o pagar por el uso de dichas frecuencias. Pero también existen rangos de frecuencias que son de uso libre y en las cuales se puede realizar enlaces PtP o PtMP sin ningún costo.

Tabla 8- Principales Frecuencias Licenciadas y No Licenciadas

Frecuencias Licenciadas	Frecuencias No Licenciadas
900 MHz	2.4 GHz
3 GHz	5 GHz
4 GHz	24 GHz
10 GHz	
11 GHz	

Fuente: (Ubiquiti, 2017)

3.5.3 FRECUENCIAS 2.4 GHz Y 5GHz

Entre las frecuencias más conocidas de uso libre para realizar enlaces inalámbricos tenemos los rangos de frecuencia de 2.4 GHz y 5GHz. El rango de frecuencias de 2.4GHz consta de 14 canales, aunque cada país aplica sus propias restricciones al número de canales disponibles. Es una banda muy propensa a interferencias debido a que hay pocos canales para operar y en solo tres canales con anchos banda de 20 MHz se evita el solapamiento (ver ilustración 17).

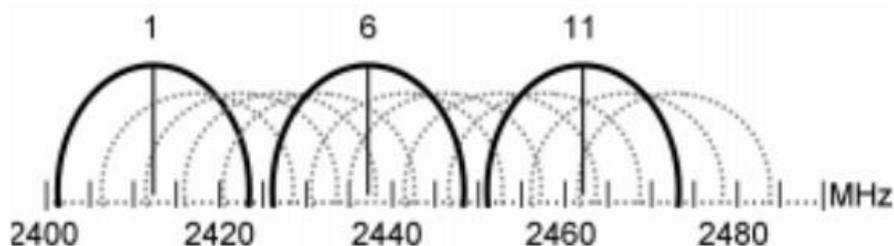


Ilustración 17-Canales utilizados en la banda de 2.4 GHz

Fuente: (Villegas, Lopez-Aguilera, Vidal, & Paradells, 2007)

El rango de frecuencias de 5 GHz presenta una gran ventaja en comparación con el rango de frecuencias de 2.4 GHz ya que ofrece mayor disponibilidad de canales y además permite mayores transferencias de datos. Los canales en el espectro de 5 GHz se clasifican en UNII-1 (bajas bandas), UNII-2 (bandas medias) y UNII-3 (altas bandas), dentro de estos rangos existen regulaciones desde el punto de vista de la potencia de transmisión, UNII-1 y UNII-2 están limitados a 200mW (23dB). UNII-2 extendido está limitado a 1W (30dB). También existe un rango que generalmente está reservado para radares (UNII-2).

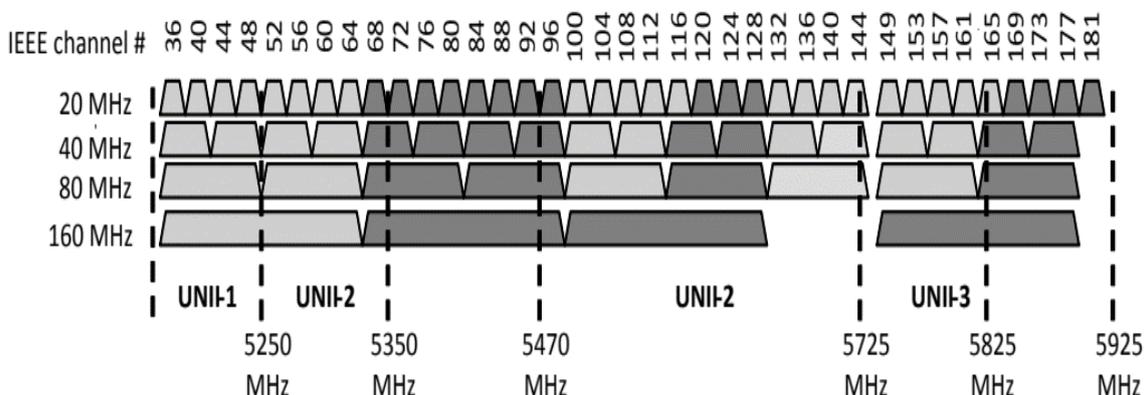


Ilustración 18-Canales utilizados en la banda de 5 GHz

Fuente: (Takagi, 2015)

3.6 FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica se usa ampliamente en los sistemas de telecomunicaciones, debido a que permiten enviar gran cantidad de datos a una gran distancia y a altas velocidades, y son el medio de transmisión por excelencia. La fibra óptica es un medio de transmisión hecho de hilos delgados de fibra de vidrio o plástico por el cual se envían señales ópticas.

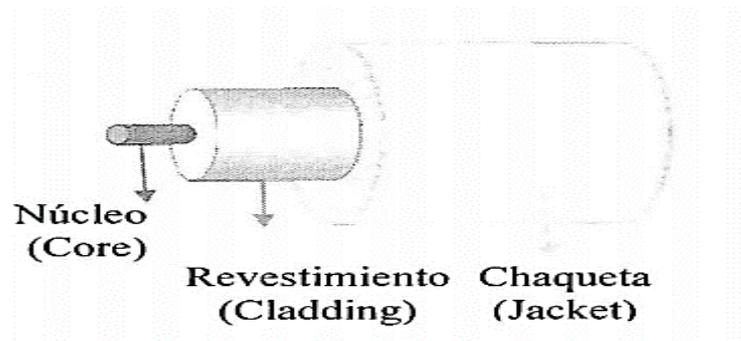


Ilustración 19-Estructura de una Fibra Convencional

Fuente: (Aristizabal, 2007)

La luz se transmite por el centro de la fibra llamada núcleo. El núcleo está rodeado por un material óptico llamado revestimiento que atrapa la luz en el núcleo utilizando una técnica óptica llamada reflexión. Debido al gran ancho de banda, la fibra óptica es el medio de transmisión preferido.

3.6.1 MODOS DE PROPAGACIÓN

La luz se puede propagar por un cable de fibra óptica por reflexión o por refracción. La forma en que se propague depende del modo de propagación. La propagación multimodal ocurre cuando los rayos de luz toman diferentes trayectorias por una fibra y llegan a destino en diferentes tiempos, causando el ensanchamiento del pulso mientras que en la propagación mono modal solo existe una trayectoria de la luz sobre el hilo de la fibra (véase ilustración 20).

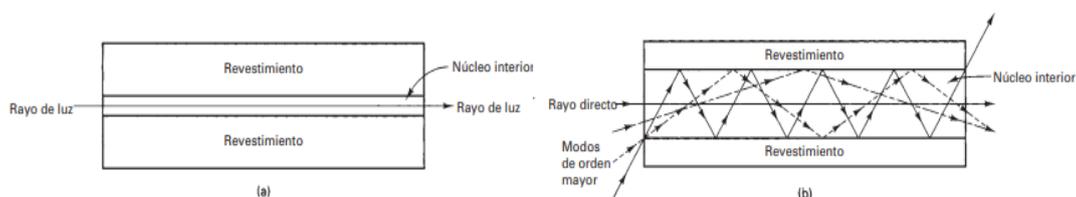


Ilustración 20-Modos de Propagación a) Mono modal b) Multimodal

Fuente: (Tomasi, 2003)

En la propagación multimodo la fibra óptica posee un núcleo más grande que la fibra monomodo ya que está diseñada para transportar varios rayos de luz simultáneamente, cada modo posicionado en un ángulo de reflexión diferente dentro del núcleo de fibra. En la ilustración 21 se puede observar el tamaño de cada núcleo de la fibra monomodo y multimodo.

Aunque todos pueden emplearse de la misma manera, los cables de 50 micras, particularmente OM5, OM3 y OM4 optimizados para láser, proporcionan longitudes de enlaces mayores y/o velocidades más altas, además se recomiendan para aplicaciones locales redes troncales, enlaces horizontales y entre edificios... () (Black Box Network Services, 2020)

En cuanto a la fibra monomodo es ideal para infraestructura de redes de larga distancia en base a esto será utilizada para el diseño de este proyecto de investigación. Para referencia de cálculo de presupuesto de atenuación se puede tomar las especificaciones de la tabla 9 de un fabricante.

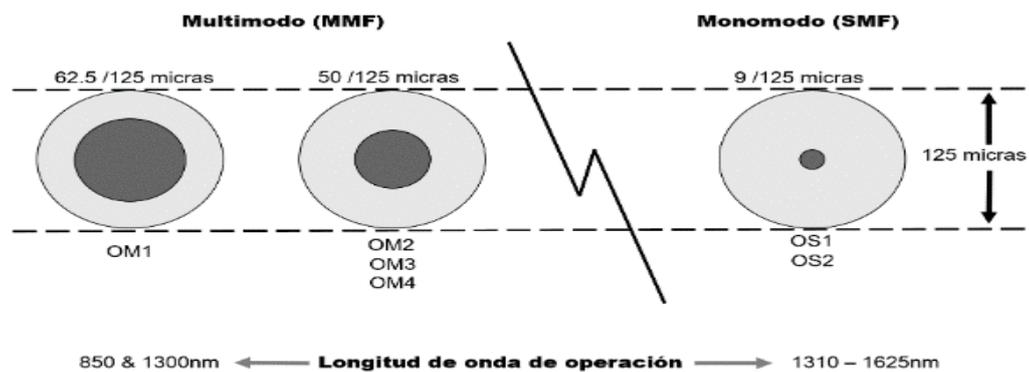


Ilustración 21-Núcleo de fibra monomodo y multimodo

Fuente: (Syscom, 2020)

Tabla 9- SMF Longitud de onda y atenuación

Fibra monomodo		
Tipo de cable	Longitud de onda	Atenuación máxima
Monomodo Interior-Exterior	1310 nm	0.5 dB/km
	1383 nm	0.5 dB/km
	1550 nm	0.5 dB/km
Monomodo Interior	1310 nm	1.0 dB/km
	1383 nm	1.0 dB/km
	1550 nm	1.0 dB/km
Monomodo Exterior	1310 nm	0.4 dB/km
	1383 nm	0.4 dB/km
	1550 nm	0.4 dB/km

Fuente: (Black Box Network Services, 2020)

Generalmente se utilizan tres materiales para la fabricación de fibra óptica vidrio, plástico o una combinación de vidrio y plástico, en función de la implementación de la fibra se deberá seleccionar el material ideal de construcción de la misma. La ilustración 22 muestra ejemplos de varias configuraciones de cables de fibra óptica.

Las fibras de plástico tienen varias ventajas sobre las de vidrio. La primera es que las de plástico son más flexibles y, en consecuencia, más robustas que el vidrio. Son fáciles de instalar, pueden resistir mejor los esfuerzos, son menos costosas y pesan 60% menos que el vidrio. La desventaja de las fibras de plástico es su alta atenuación característica: no propagan la luz con tanta eficiencia como el vidrio. (Tomasi, 2003, pág. 428)

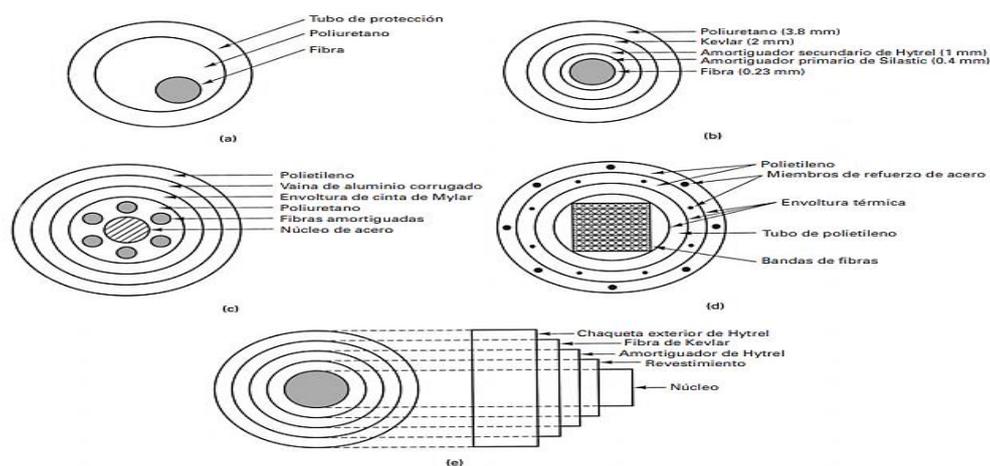


Ilustración 22-Configuraciones de cable de fibra óptica: (a) construcción suelta en tubo; (b) fibra restringida; (c) fibras múltiples; (d) cable telefónico; (e) cable de sílice revestida de plástico

Fuente: (Tomasi, 2003)

3.6.2 REDES ÓPTICAS

Las tecnologías de transmisión por fibra óptica han evolucionado debido a la creciente demanda de servicios de alta velocidad y gran ancho de banda. Esta evolución ha dado como resultado redes ópticas de primera, segunda y tercera generación. La Multiplexación por división de longitud de onda (WDM) permite altas capacidades de datos por la fibra óptica.

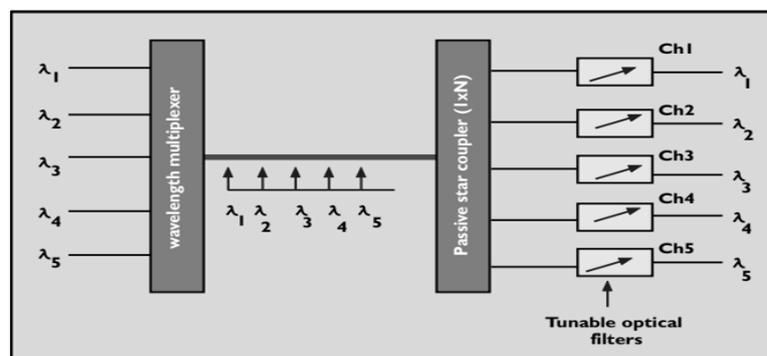


Ilustración 23-Multiplexación por división de longitud de onda

Fuente (Chatterjee & Pawlowski, 1999)

La Multiplexación por división de longitud de onda consiste en emitir varias señales independientes sobre una fibra óptica, mediante portadoras ópticas de diferentes longitudes de onda. Las redes ópticas de primera generación son basadas en enlaces WDM punto a punto dentro de un mismo dominio óptico (ver ilustración 24).

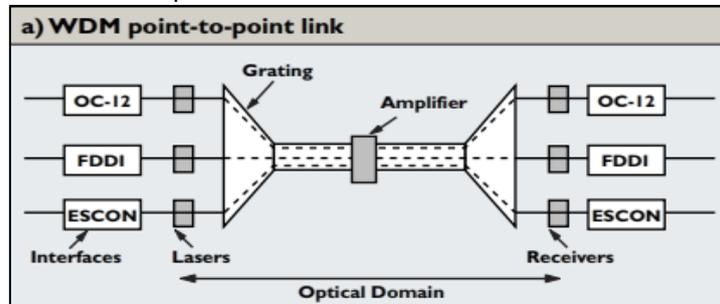


Ilustración 24- WDM Punto a punto

Fuente: (Chatterjee & Pawlowski, 1999)

En redes ópticas de segunda generación se implantan funciones de enrutamiento y conmutación en el dominio óptico. Conocidas también como redes de enrutamiento por longitud de onda o redes de conmutación de circuitos ópticos. Se implementan equipos que extraen información de longitudes de onda específicas (OADM), equipo que multiplexa varias longitudes de onda en una sola fibra (OLT) y equipos que pueden conmutar una longitud de onda (OXC).

En la tercera generación de redes se pretenden brindar anchos de banda mayor para áreas extensas.

“En las redes ópticas de tercera generación la conmutación de paquetes ópticos convierte los paquetes IP a paquetes ópticos IP en la entrada de un router de frontera siguiendo una topología similar a la presentada en redes MPLS...” (Leguizamón, Ortega, Capmany, Cardona, & Fajardo, 2008, pág. 152)

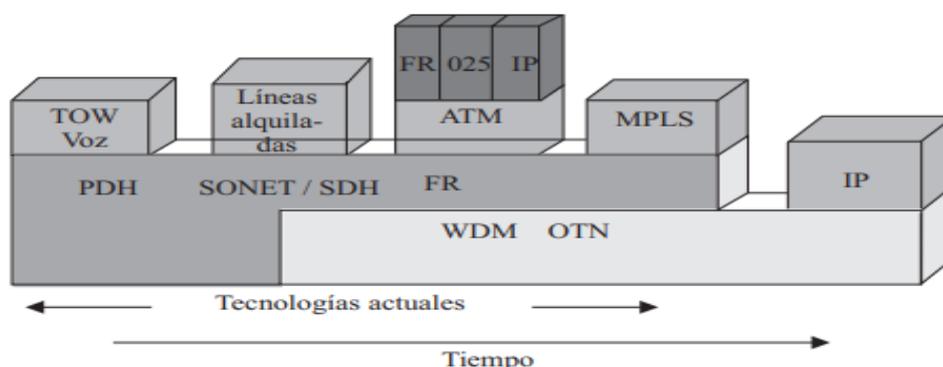


Ilustración 25-Evolución de las redes de datos ópticas

Fuente: (Leguizamón, Ortega, Capmany, Cardona, & Fajardo, 2008)

3.6.3 RED ÓPTICA CON CAPACIDAD GIGABIT (GPON)

La Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit es una tecnología de acceso de banda ancha sobre fibra óptica para llegar hasta el usuario. Esta tecnología de fibra óptica permite una mayor velocidad de transmisión y recepción de datos a través de una sola fibra con una arquitectura de punto a multipunto.

Tabla 10-Tecnologías PON

Características	ITU-T GPON	IEEE EPON
Tasa de bits Mb/s	Downstream 2488, 1244 Upstream 2488, 1244, 622, 155	Downstream 1250 Upstream 1250
Fecha de estandarización	2003	2004
Código de línea	NRZ	8B/10B
Division máxima	1:64	1:32
Alcance máximo	20 Km	10 Km
Protocolo básico	ATM	Ethernet
Estándar	Serie ITU-T G984.x	IEEE 802.3ah
Tecnología de acceso	TDMA	TDMA
Seguridad	AED	No definida
OAM	PLOAM+OMCI	Ethernet-OAM

Fuente: (López Bonilla, Moschin, & Rudge Barbosa, 2009)

Entre las denominaciones de Redes Ópticas Pasivas (PON) encontramos dos estándares principales EPON (Ethernet PON) y GPON. EPON se basa principalmente en el transporte de tráfico ethernet mientras GPON lo realiza sobre TDM. Actualmente se desarrollan versiones como XG-PON1 (ITU-T G.987) y NG-PON2 (ITU-T G.989) que son redes ópticas pasivas con capacidad de 40 Gbps.

Para la velocidad de transmisión en el canal de distribución (downstream) y para el canal upstream la ITU-T (2008) menciona que "La velocidad de bits más importante es 1.2 Gbps upstream, 2.4 Gbps downstream, lo que constituye casi todos los implementados y despliegue planificado de los sistemas GPON"(pág. 7).

3.6.4 ARQUITECTURA RED GPON

La arquitectura de una red GPON está conformada por una OLT ubicado en la oficina central del proveedor, la red troncal, red de distribución y red de dispersión (ODN) y por los terminales de red ópticos también conocidas como ONU que se encuentran en las instalaciones del usuario final y presentan las interfaces hacia los dispositivos.

- OLT: Terminal de línea óptico ubicado en la oficina central. Detecta y administra los equipos terminales.
- ODN: Red de distribución óptica se compone de la red troncal, red de distribución y red de dispersión. Proporciona los canales de transmisión óptica entre la OLT y las ONU.
- ONU se encuentran en las instalaciones del usuario final. Encargado de reenviar tráfico "upstream" y recibir selectivamente datos "downstream" de la OLT.

Para conectar la OLT a la red de distribución se emplea un cable de fibra óptica a un divisor pasivo (splitter) donde este puede ser 1: n (donde n =2, 4, 8, 16, 32, 64) lo que representa una conexión punto a multipunto. La OLT cuenta con un número variante de puertos PON según el fabricante y las velocidades de dichos puertos están regulados por la ITU-T.

La red de acceso es la parte de la red más próxima al usuario, por lo que se caracteriza por la abundancia de servicios y protocolos. El método de encapsulamiento de la información que utiliza GPON se llama GEM (GPON Encapsulation Method) que permite soportar cualquier tipo de servicio, (Ethernet, ATM, TDM, entre otros) en un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de 125µs. (López Bonilla, Moschin, & Rudge Barbosa, 2009, pág. 322)

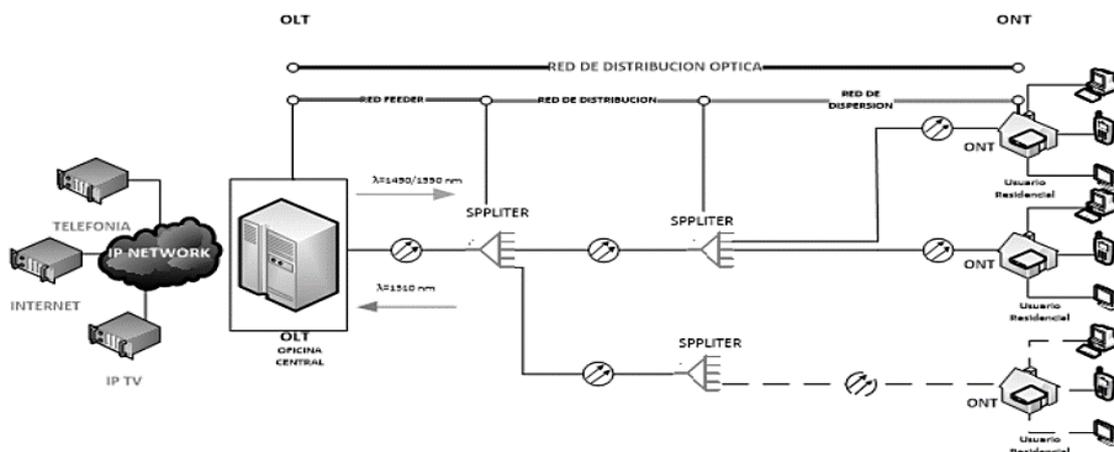


Ilustración: Estructura de Red GPON

Fuente: (Quisnancela & Espinosa, 2016)

La OLT para el tráfico downstream realiza un "broadcast" óptico y son distribuidos en una longitud de onda distinta al tráfico upstream. La OLT envía "frames" de datos al splitter constantemente y la ONU selecciona el tráfico específico que le interesa mientras los demás "frames" lo descartará.

Para el tráfico "upstream" los protocolos TDMA aseguran la transmisión sin colisiones desde la ONU hasta la OLT. A cada ONU se le asigna un intervalo de tiempo en el que se pueden transmitir datos, el tráfico upstream no es constante, sino que se compone de ráfagas. Estos tráfico se pueden apreciar en la ilustración 25.

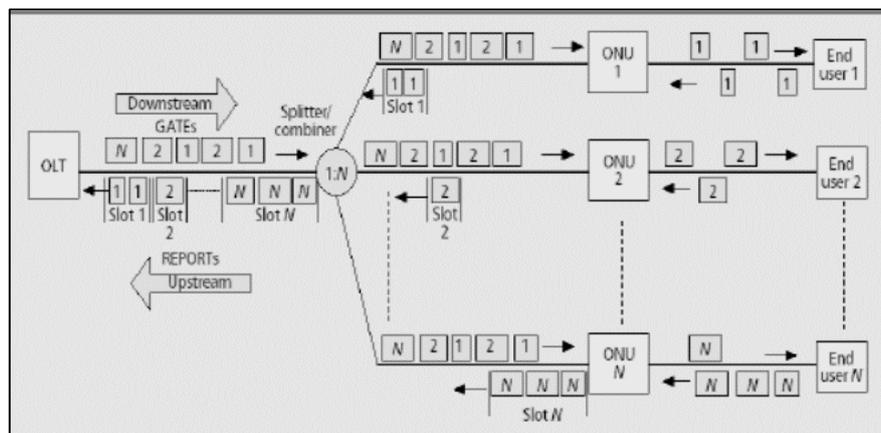


Ilustración 26-Tráfico Downstream y Upstream

Fuente: (Quisnancela & Espinosa, 2016)

3.6.5 CÁLCULO PRESUPUESTO DE ATENUACIÓN ÓPTICA

En el diseño de red de fibra se debe realizar los cálculos en atenuación para encontrar los valores ideales de operación de los equipos. Para calcular la atenuación en la fibra debemos considerar la atenuación en puntos de fusión, en mangas, la atenuación en conectores, la atenuación en los splitter (divisores) y la atenuación de la fibra por su longitud.

Tabla 11-Valores de Referencia ITU-T G 984.x

Elemento	Perdidas
Atenuación en puntos de fusión	≤ 0.30 dB
Atenuación en conectores mecánicos	≤ 0.50 dB
Atenuación en Conectores	≤ 0.75 dB
Atenuación en mangas	≤ 0.15 dB
Margen de Seguridad	+3 dB
Atenuación $\lambda = 1310$ nm	0.35 dB /Km
Atenuación $\lambda = 1550 / 1490$ nm	0.22 dB /Km

Fuente: (ITU-T, 2008).

La ITU-T G 984.x recomienda valores de referencia de atenuación de diferentes elementos y materiales en la tabla 11 que se pueden considerar en el cálculo de la atenuación. También se deben tomar las atenuaciones de la hoja de especificaciones de cada fabricante. Para calcular la atenuación se considera la siguiente ecuación.

$$A = \alpha L + \alpha_s * x + \alpha_c * y$$

Ecuación 4- Presupuesto de atenuación

Fuente: (ITU-T, 2009)

Donde A es la atenuación total teórica, α es el coeficiente de atenuación típica de un cable de fibra en un enlace; α_s significa pérdidas de splitter; x es el número de splitter en un enlace; α_c significa pérdidas de los conectores; y el número de conectores en un enlace y L es la longitud del enlace.

Tabla 12-Perdidas en Splitter

Splitter	Pérdida
1:64	20.5
1:32	17.5
1:16	13.8
1:8	10.6
1:4	7.5
1:2	3.8

Fuente: (ITU-T, 2008).

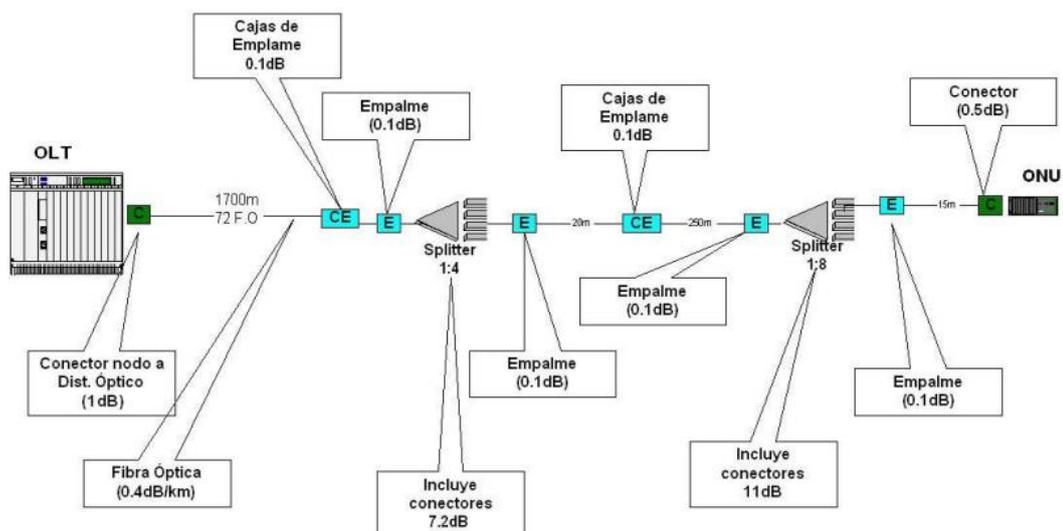


Ilustración 27-Topología típica de una red GPON

Fuente: (Abreu, y otros, 2009)

IV. METODOLOGÍA

Una vez planteado el problema de investigación, los objetivos por alcanzar y finalizado el marco teórico, en esta sección se establecerán los procedimientos de orden metodológico que permiten ejecutar la investigación. Esto implica una estructura sistemática para la recolección, ordenamiento y análisis de la información, permitiendo la interpretación de resultados en función del problema que se investiga.

4.1 ENFOQUE

Para abordar un tema de investigación existen diferentes alternativas metodológicas: cuantitativa, cualitativa o mixta. La metodología propuesta para abordar esta investigación es del tipo cuantitativo. "La investigación cuantitativa ofrece la posibilidad de generalizar los resultados más ampliamente, otorga control sobre los fenómenos, así como un punto de vista basado en conteos y magnitudes" (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, pág. 15).

El tipo de estudio es no experimental, de acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014) la investigación no experimental "se realiza sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos" (pág. 152). Dado que se recolectarán datos en un solo momento en una localidad piloto del diseño de la red, el diseño será transversal o transeccional. Para Hernández, Fernández, & Baptista (2014) "Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado" (pág. 155).

El alcance de la investigación es descriptivo ya que se busca especificar propiedades y características de las redes Gpon. "Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas" (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, pág. 92).

4.1.1 HIPÓTESIS

"Las hipótesis son las guías de una investigación o estudio. Las hipótesis indican lo que tratamos de probar y se definen como explicaciones tentativas del fenómeno investigado" (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, pág. 104).

A continuación, se establece la hipótesis de investigación que será de tipo descriptiva de acuerdo al alcance que se determinó:

Hi: Las redes de fibra óptica con capacidad gigabit proporciona anchos de banda mayor a los clientes.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

En esta sección se definen las variables independientes y dependientes que serán motivo de análisis para el desarrollo de la investigación. La variable independiente es la que se considera como supuesta causa en una relación entre variables, es la condición antecedente, y al efecto provocado por dicha causa se le denomina variable dependiente (consecuente).

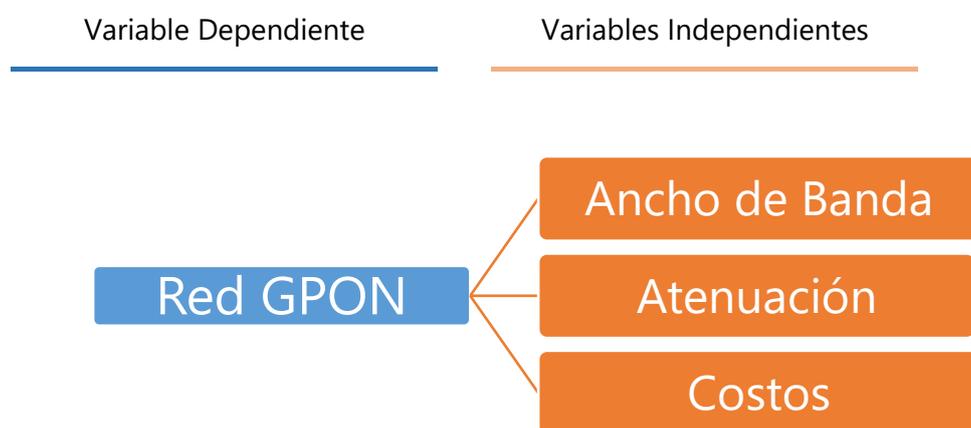


Ilustración 28-Diagrama variable dependiente y variables independientes

Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 28 se presentan la variable dependiente y las variables independientes de este caso de investigación. Como variable dependiente se estableció la red GPON que es la consecuencia o el efecto que provoca las variables independientes como ser el ancho de banda, la atenuación y el costo.

Para la primera variable independiente se consideró el ancho de banda ya que se necesita medir la capacidad que puede proporcionar el diseño de la red. Como segunda variable independiente de estudio se tiene la atenuación presente en los diferentes puntos de cobertura de la red. La última variable considerada es el costo que representa el despliegue de la red.

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

En esta sección se detallan las técnicas es decir los recursos o procedimientos necesarios para acercarse a los fenómenos, hechos o cosas y extraer de ellos información, apoyándose en instrumentos para la recolectar, guardar y registrar la información. Para esta investigación en especial se utilizarán mapas y software para registrar la información y mediciones tales como:

- AutoCad es un software de diseño asistido por computadora en el que confían arquitectos, ingenieros y profesionales de la construcción para crear dibujos 2D y 3D precisos.
- Google Earth es un software que permite explorar el mundo entero desde arriba con imágenes satelitales y el terreno en 3D del mundo entero y edificios en 3D en cientos de ciudades de todo el mundo.

4.3.1 FUENTES

Existen dos tipos diferentes de fuentes de investigación: Primeramente, están las fuentes primarias son aquellas utilizadas para tener acceso de forma directa a la información mientras que las fuentes secundarias son aquellas que se componen de información sintetizada; estas dan apoyo a la investigación y enriquecen los conceptos. En este proyecto de investigación se consideraron las siguientes fuentes:

- Fuentes Primarias: Se realizaron entrevistas a proveedores de internet inalámbrico para conocer las principales características de su red.
- Fuentes Secundarias: Se tomaron en cuenta guías de instalación, artículos, tesis, cursos y publicaciones obtenidas mediante el internet.

4.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población de estudio de este proyecto serán las redes de los proveedores de internet inalámbrico que operan en la ciudad de Choloma. La muestra que se seleccionara es de tipo no probabilístico, "también llamadas muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización" (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, pág. 189)

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En esta sección se sigue un proceso sistemático para el diseño de la red de fibra óptica pasiva (GPON) en una localidad piloto utilizando los instrumentos mencionadas que ayudarán en el sustento del presente trabajo.

4.5.1 ESTUDIO DE LA LOCALIDAD PILOTO

Se estableció la ciudad de Choloma como localidad piloto para el diseño de la red, además, se realizó el levantamiento de planos con georreferencia para el estudio de la localidad piloto. También se hizo un recorrido visual donde estará el nodo central y alrededores. Se consultó la ordenanza municipal sobre el uso público aéreo de cables.

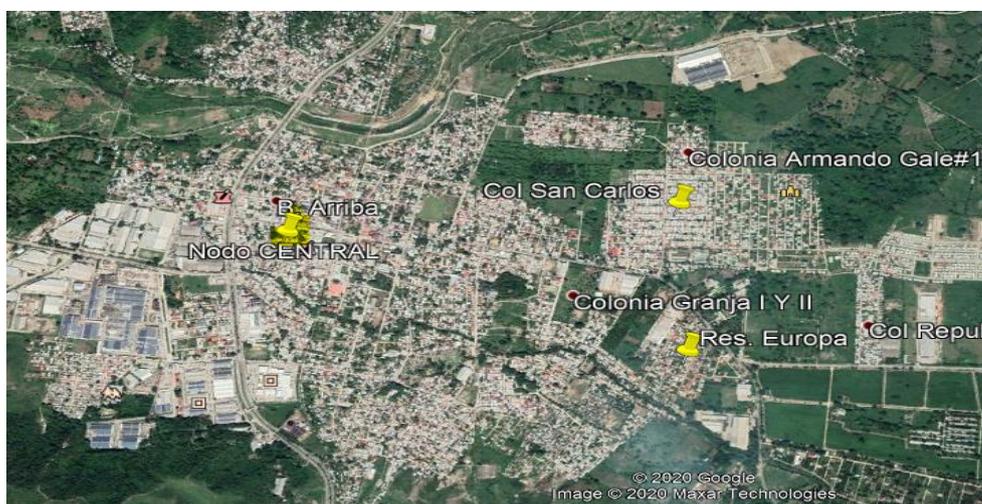


Ilustración 29-Mapa del municipio de Choloma

Fuente: (Google Earth, 2020)

4.5.2 PLANEACIÓN Y DISEÑO DE LA RED

Una vez determinado la ubicación del nodo central en la localidad se procede a la planeación de la red. Para eso se necesita comprender diferentes factores incluidos el tamaño, el costo, la cobertura, la escalabilidad y la densidad de clientes, factores que se planifican en consecuencia del criterio, conocimiento y la experiencia del diseñador.

Es necesario realizar un diseño que permita establecer los elementos precisos para presupuestar el despliegue de la red. Se ha estimado contar con una red que tenga cobertura en las comunidades centrales de la ciudad, atendiendo 64 clientes en diferentes zonas para una totalidad de 256 clientes de acuerdo a la capacidad de la OLT propuesta (ver anexo 2).

Este diseño está basado en arquitectura de dos etapas es decir se utilizarán dos niveles de splitter: primer nivel 1x4 y segundo nivel contará 1x16. La red GPON propuesta incluye los diseños de la red feeder, la red distribución y la red de dispersión. De acuerdo a lo anterior se ha trazado las trayectorias de la fibra troncal y de distribución como lo muestra la siguiente ilustración 30.



Ilustración 30-Despliegue red GPON

Fuente: (Google Earth, 2020)

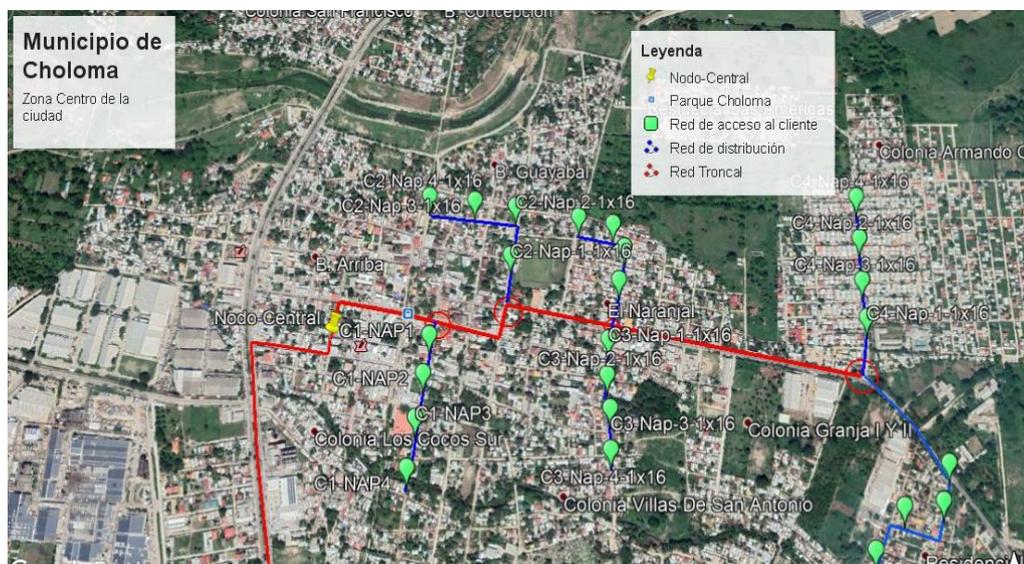


Ilustración 31-Despliegue red GPON utilizando otros hilos de fibra.

Fuente: (Google Earth, 2020)

Aunque en el diseño propuesto solo se tomará en cuenta 4 hilos de fibra, en la ilustración anterior se muestra un diseño utilizando un par más de hilos de la fibra troncal. Además, para fines ilustrativos se muestra un ejemplo en la ilustración 32 de un diseño con diferentes niveles de splitter con respecto al propuesto.

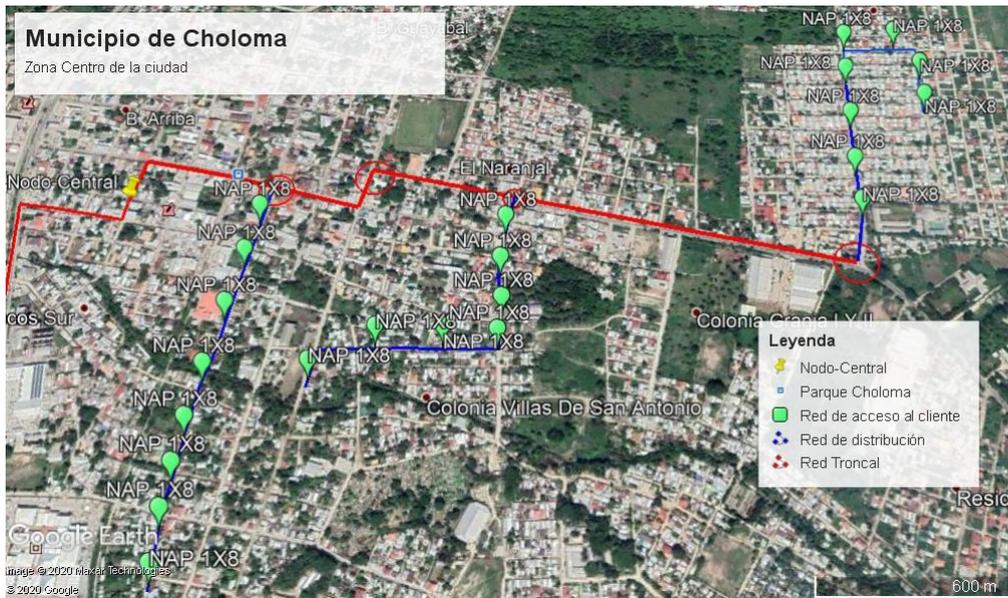


Ilustración 32-Despliegue red GPON
Fuente: (Google Earth, 2020)

4.6 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En este proyecto se realizaron diferentes actividades que ayudaron a la finalización del mismo y con el fin de registrar las actividades realizadas durante la ejecución del proyecto se realiza la tabla 17. El cronograma inicia desde la presentación y definición de objetivos del proyecto, seguido de la planeación, diseño, cálculo y análisis de la red Gpon hasta finalizar con la entrega del proyecto.

Tabla 13-Cronograma de Actividades

Actividad	Fecha Inicio	Fecha Final	Mayo Junio Julio									
			Semanas									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Presentación y definición de objetivos del proyecto.	04/05/2020	08/05/2020	■									
Realización Marco Teórico	11/05/2020	15/05/2020		■								
Diseño del enfoque de la investigación	18/05/2020	22/05/2020			■							
Realización de estudio de la localidad	25/05/2020	29/05/2020				■						
Planeación de la red GPON.	01/06/2020	05/06/2020					■					
Diseño de la red GPON en localidad	08/06/2020	12/06/2020						■	■			
Cálculo de atenuación de puntos de distribución	15/06/2020	19/06/2020							■	■		
Cotización de equipos y costos de materiales.	22/06/2020	26/06/2020								■		
Análisis de los resultados obtenidos.	29/06/2020	03/07/2020									■	
Entrega de Proyecto	06/07/2020	10/07/2020										■

Fuente: Elaboración propia

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación de técnicas e instrumentos ya descritos. Estos resultados serán de análisis para dar respuesta a los objetivos planteados a partir de las mediciones efectuadas y los datos resultantes de las variables establecidas, dicho análisis será necesario para la argumentación de la aplicación de este caso de estudio.

5.1 COBERTURA Y ATENUACIÓN

Es necesario el cálculo de atenuación del diseño propuesto de la red GPON para garantizar teóricamente que cada usuario en la red recibirá la potencia adecuada que la ONU admite. La ilustración 33 muestra el diseño de la red que pretende dar servicio en la zona central de la ciudad.

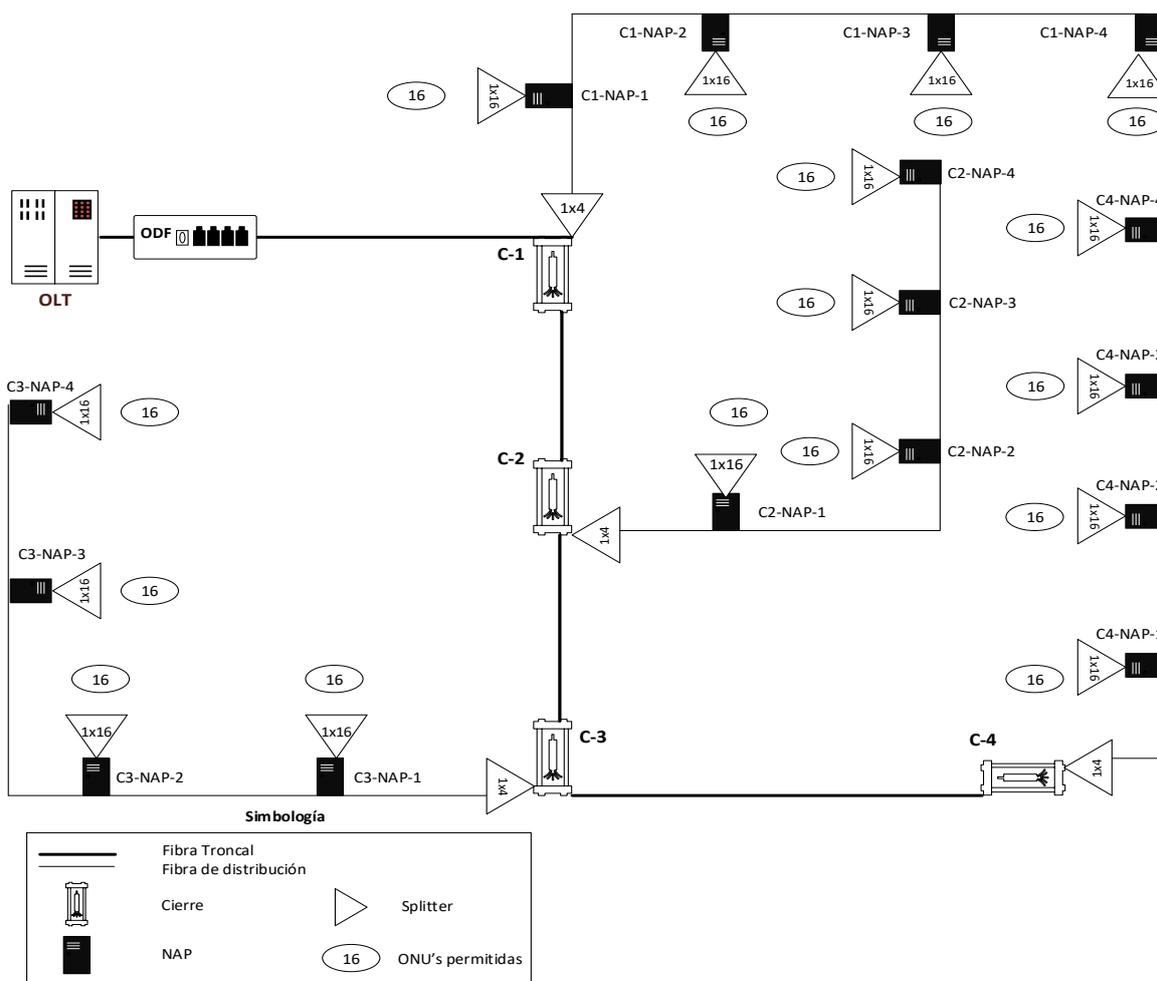


Ilustración 33-Eschema de red GPON

Fuente: Elaboración propia

Para la estimación de la longitud de cable necesaria en las diferentes trayectorias de la fibra se consideró reservas de 30 metros cada 500 metros, en curvas o cruces para la fibra troncal, mientras, que para la fibra de distribución se consideró 15 metros de reserva en trazos finales. Para el cálculo de atenuación se presenta la ilustración 31 con los componentes a considerar en cada punto de distribución.

Para propósitos de cálculo y estimar la atenuación total en la trayectoria hasta el cliente final se estimó una distancia máxima de 150 m de fibra drop de un hilo. En el cálculo de atenuación se utilizó la ecuación 4.

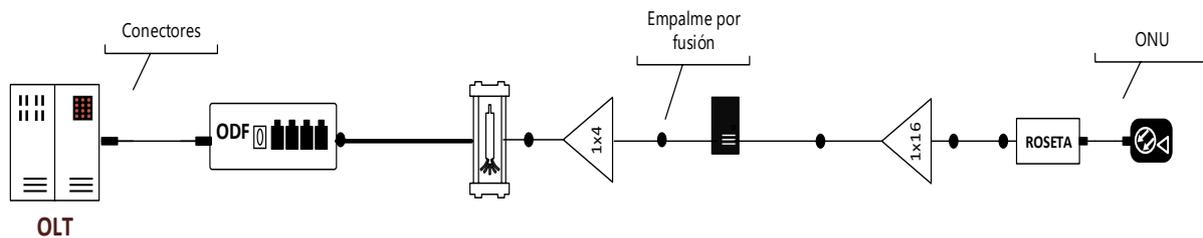


Ilustración 34-Eschema de trayectoria hasta al cliente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14- Valores de atenuación

Código NAP	Olt-Cierre (m)	Cierre-NAP (m)	NAP-Roseta (m)	Pérdidas FO (dB)	Pérdidas Conector (dB)	Pérdida Empalmes	Pérdidas Splitter (dB)	Atenuación Total (dB)	Potencia Recibida
C1.NAP-1	470	118	150	0.26	2.00	0.60	21.00	23.86	-18.86
C1.NAP-2	470	235	150	0.30	2.00	0.60	21.00	23.90	-18.90
C1.NAP-3	470	370	150	0.35	2.00	0.60	21.00	23.95	-18.95
C1.NAP-4	470	495	150	0.39	2.00	0.60	21.00	23.99	-18.99
C2.NAP-1	795	115	150	0.37	2.00	0.60	21.00	23.97	-18.97
C2.NAP-2	795	246	150	0.42	2.00	0.60	21.00	24.02	-19.02
C2.NAP-3	795	362	150	0.46	2.00	0.60	21.00	24.06	-19.06
C2.NAP-4	795	480	150	0.50	2.00	0.60	21.00	24.10	-19.10
C3.NAP-1	1130	120	150	0.49	2.00	0.60	21.00	24.09	-19.09
C3.NAP-2	1130	230	150	0.53	2.00	0.60	21.00	24.13	-19.13
C3.NAP-3	1130	335	150	0.57	2.00	0.60	21.00	24.17	-19.17
C3.NAP-4	1130	460	150	0.61	2.00	0.60	21.00	24.21	-19.21
C4.NAP-1	1965	114	150	0.78	2.00	0.60	21.00	24.38	-19.38
C4.NAP-2	1965	224	150	0.82	2.00	0.60	21.00	24.42	-19.42
C4.NAP-3	1965	344	150	0.86	2.00	0.60	21.00	24.46	-19.46
C4.NAP-4	1965	480	150	0.91	2.00	0.60	21.00	24.51	-19.51

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13 se presentan los valores de atenuación presentes en los enlaces de la red. La señal en el puerto de la OLT tiene valor positivo 5 dB, las pérdidas que se presentan en este diseño son por conectores (2dB), por fusión (6), por los dos niveles de splitter son 21(dB) más las pérdidas de la fibra misma. La columna -potencia recibida- representa el valor teórico que tendrían las 16 ONU conectadas a cada caja de distribución (NAP).

En la ilustración 34 se presenta la relación entre distancia y lo valores de atenuación presente, en cuanto mayor distancia se encuentra el cliente se presentará mayores valores de atenuación. Los resultados obtenidos de esta variable se encuentran dentro del rango de operación de las ONU's propuesta (ver anexo 3) ya que en la estimación de la cobertura no supera los tres kilómetros y además se propone realizar fusiones en lugar de utilizar conectores APC se obtiene valores de atenuación bajos.

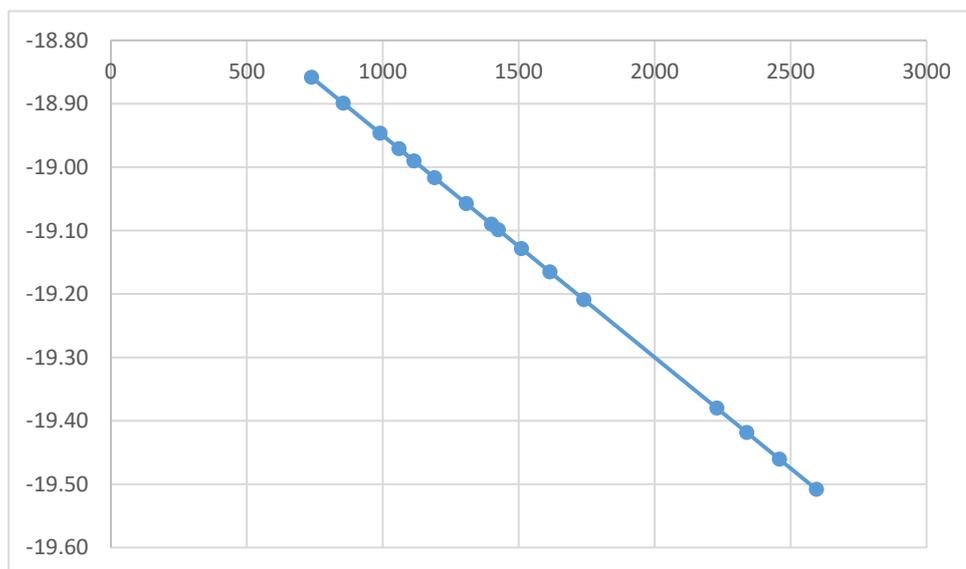


Ilustración 35-Relacion atenuación distancia

Fuente: Elaboración propia

5.2 PRESUPUESTO DE COSTO DE EQUIPOS, MATERIALES E INSTALACIÓN.

En esta sección se estiman todos los costos a nivel general que intervienen en el proyecto. Primeramente, se presupuestó los costos de materiales requeridos en la planta externa del diseño de la red. De acuerdo con el despliegue propuesto en la zona central de la localidad se necesitarán los siguientes materiales.

La OLT propuesta consta de 4 puertos por lo que en el diseño de la red feeder se consideró utilizar fibra de 4 hilos, pero por escalabilidad se decidió presupuestar una fibra óptica con

mayor número de hilos. Finalmente se diseñó utilizando fibra de 12 hilos 652.d debido a mejor desempeño (ver anexo 4).

En el diseño de la red de distribución se utilizó fibra de 4 hilos 652.d, esta fibra será conectada a la red troncal mediante un splitter de nivel 1 en este caso un splitter 1x4 en cada uno de los 4 cierres planificados del diseño. Para unir la fibra de distribución a la red troncal se puede realizar mediante conectores y adaptadores APC, pero para disminuir las pérdidas se recomienda fusionar cada hilo al splitter.

Para el diseño de la red de dispersión o red de acceso al cliente se utilizó un splitter de segundo nivel 1x16 fusionado a la fibra de distribución. Para proporcionar conexión al cliente se utiliza fibra drop de un hilo conectado o fusionado al splitter de nivel 2 (1x16). Considerando un crecimiento de la red se colocó cuatro cierres en la fibra troncal para futuras derivaciones. Tomando estas consideraciones se presupuestó lo siguiente en planta externa (tabla 14) y planta interna (tabla 16).

Tabla 15-Costos Planta Externa

Planta Externa				
Elementos	Cantidad	Medida	Precio Unitario	Total
Fibra Óptica ADSS 12 hilos	2000	Metros	L. 17.49	L. 34,980.00
Fibra Óptica ADSS 4 hilos	2000	Metros	L. 12.99	L. 25,980.00
Fibra drop flat 1 hilo	2000	Metros	L. 2.04	L. 4,070.60
Mufla de Empalme	4	Unidad	L. 1,533.00	L. 6,132.00
Caja de Distribución	16	Unidad	L. 650.00	L. 10,400.00
Splitter Óptico PLC 1x4	4	Unidad	L. 255.80	L. 1,023.20
Splitter Óptico PLC 1x16	16	Unidad	L. 474.00	L. 7,584.00
Pigtail de fibra APC/SC	250	Unidad	L. 17.50	L. 4,375.00
Roseta Óptica	250	Unidad	L. 15.00	L. 3,750.00
ONU	250	Unidad	L. 850.00	L. 212,500.00
Patch Cord SC/APC - SC/APC	250	Unidad	L. 25.00	L. 6,250.00
Subtotal				L. 310,794.80
ISV 15%				L. 46,619.22
TOTAL				L. 357,414.02

Fuente: Elaboración propia

Una vez presupuestado todos los materiales y equipos necesarios que brindará servicio a 250 usuarios en la red se procedió a realizar el presupuesto de instalación de fibra según diseño. Debido a que los proveedores de servicio de internet inalámbrico no cuentan con personal calificado para realizar dichos trabajos se consideró presupuestar la instalación (tabla 15).

Tabla 16-Costos de instalación

Instalación				
Elementos	Cantidad	Medida	Precio Unitario	Total
Fusión	1200	Unidad	L. 150.00	L. 180,000.00
Instalación de Fibra en Postes	4000	Metros	L. 12.00	L. 48,000.00
Total				L. 228,000.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17-Costos Planta Interna

Planta Interna				
Elementos	Cantidad	Medida	Precio Unitario	Total
OLT - 4	1	Unidad	L. 32,979.35	L. 32,979.35
Módulos MM SFP 10 G	1	Unidad	L. 574.54	L. 574.54
Transmisor SC/UPC GPON	3	Unidad	L. 2,471.52	L. 7,414.56
Patch Cord MM LC/LC	1	Unidad	L. 286.27	L. 286.27
Patch Cord SC/UPC - SC/APC	4	Unidad	L. 399.68	L. 1,598.72
ODF	1	Unidad	L. 3,893.52	L. 3,893.52
Subtotal				L. 46,746.96
ISV 15%				L. 7,012.04
TOTAL				L. 53,759.00

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos de esta variable fueron obtenidos mediante cotizaciones a diferentes proveedores locales. La siguiente ilustración 42 muestra el comparativo de costos en planta externa, planta interna y la instalación.

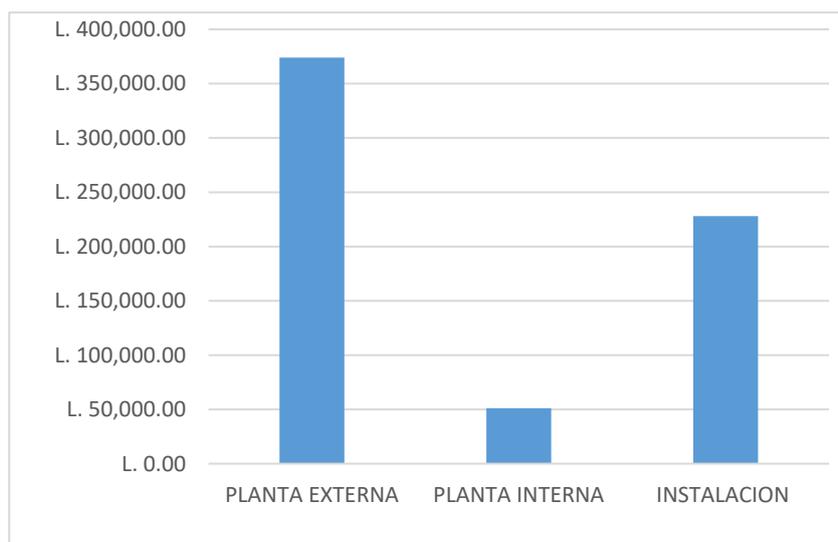


Ilustración 36-Comparativa de costos

Fuente: Elaboración propia

El mayor costo lo representa la red de planta externa compuesta por la fibra óptica instalada en los postes, materiales, accesorios, fusiones, ONU's y cierres. En la ilustración siguiente se muestra los elementos que componen la planta externa, debido a que se consideró presupuestar los costos de las 250 ONU's se refleja un costo mayor en comparación con los demás elementos.

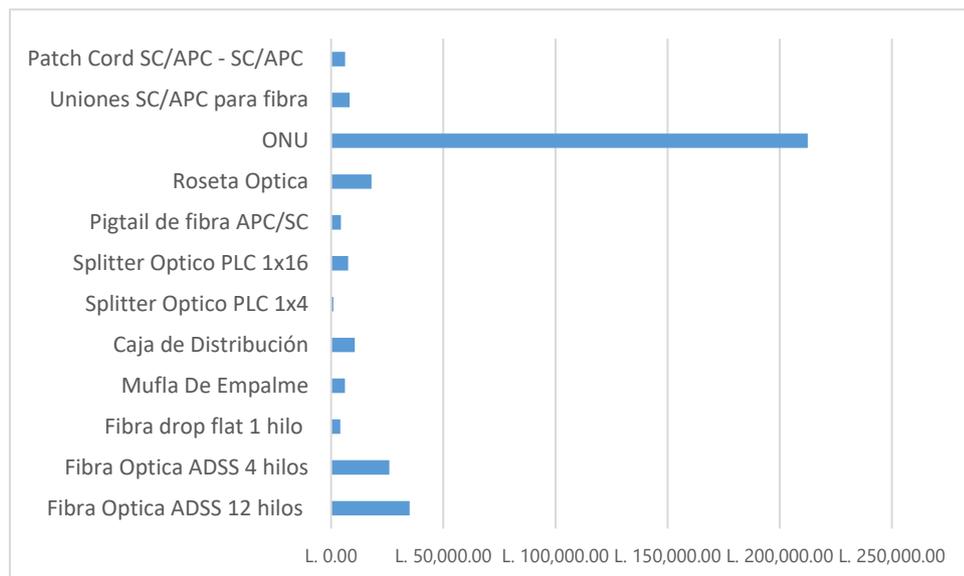


Ilustración 37-Elementos costos planta externa

Fuente: Elaboración propia

5.3 ANCHO DE BANDA

Con una arquitectura de red basado en dos etapas de splitter, la primera con relación 1x8 y la segunda con una relación 1x16 se obtiene un total de 64 clientes admitidos en cada uno de los puertos de la OLT. Conociendo la velocidad de bajada de cada puerto PON de 2.488 Gbps y el nivel de división aplicado se obtienen 64 clientes con una velocidad de bajada garantizada de 38.875Mbps (véase ilustración de relación 35).

La ilustración 35 nos brinda una comparativa de la cantidad de clientes y el ancho de banda garantizado para cliente según los niveles de splitter que se realice. En el primer caso se puede apreciar una relación de 128 clientes y 19.4375 Mbps dedicados para cada usuario, si bien es cierto esta configuración brinda la mayor cantidad de clientes esto representa forzar al equipo en su número máximo de conexiones permitidas lo que ocasionaría perdida de paquetes.

En el segundo caso presenta una relación 64 clientes y 38.875 Mbps por cada usuario, escenario ideal para implementar otros diferentes servicios de red. En la última relación es un

escenario con menos cantidad de clientes, pero mayor cantidad de ancho de banda 77.75Mbps ideal para enlaces de alta capacidad.

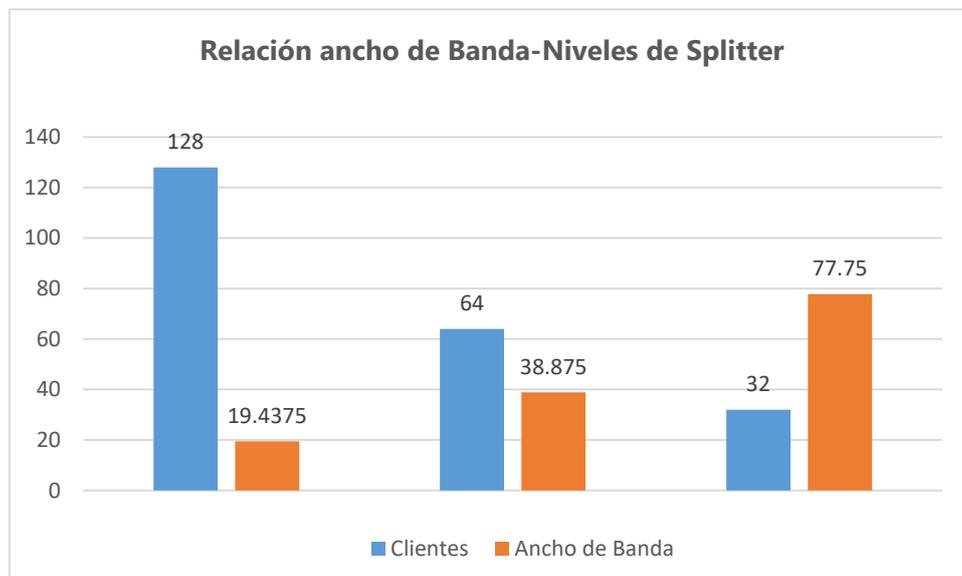


Ilustración 38-Comparativa relación de ancho de banda con niveles de splitter

Autor: Elaboración propia.

Tanto el ancho de banda y la latencia afectan el rendimiento de las conexiones, para los usuarios de la red GPON se tendría un tiempo de respuesta es decir el tiempo que el paquete tarda en llegar de un punto a otro conocido como latencia de 0ms a 2ms según pruebas realizadas (ver ilustración 36).

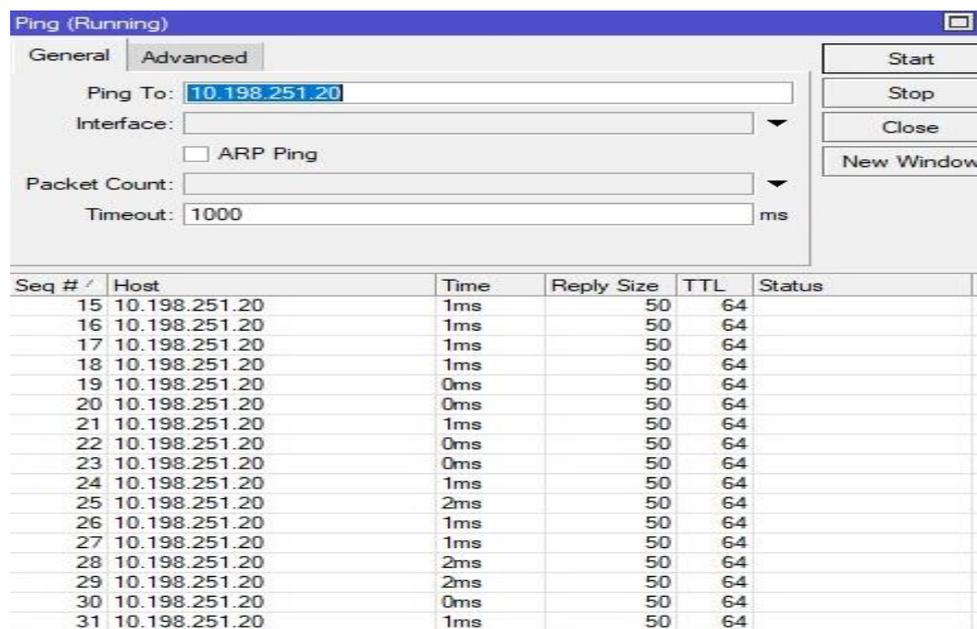


Ilustración 39-Ping entre Router a ONU

Fuente: Elaboración propia

Servicios como el streaming, los servicios en la nube, aplicaciones de voz, juegos online son servicios que se requieren niveles de latencia bajos para un mejor desempeño. Para este tipo de contenido online se presenta valores de latencia entre 27ms a 28ms según la ilustración 37, también estos valores dependerán del proveedor ISP con bajos niveles de latencia.

Seq # /	Host	Time	Reply Size	TTL	Status
60	8.8.8.8	27ms	50	116	
61	8.8.8.8	27ms	50	116	
62	8.8.8.8	27ms	50	116	
63	8.8.8.8	27ms	50	116	
64	8.8.8.8	27ms	50	116	
65	8.8.8.8	27ms	50	116	
66	8.8.8.8	27ms	50	116	
67	8.8.8.8	27ms	50	116	
68	8.8.8.8	28ms	50	116	
69	8.8.8.8	27ms	50	116	
70	8.8.8.8	27ms	50	116	
71	8.8.8.8	27ms	50	116	
72	8.8.8.8	27ms	50	116	
73	8.8.8.8	27ms	50	116	
74	8.8.8.8	27ms	50	116	
75	8.8.8.8	27ms	50	116	
76	8.8.8.8	27ms	50	116	
77	8.8.8.8	27ms	50	116	
78	8.8.8.8	28ms	50	116	
79	8.8.8.8	27ms	50	116	
80	8.8.8.8	27ms	50	116	
81	8.8.8.8	27ms	50	116	

82 items | 82 of 82 packets received | 0% packet loss

Ilustración 40-Latencia a servidores de Google

Fuente: Elaboración propia

Con el diseño propuesto con una relación de 64 clientes y 38.875Mbps por cada usuario brindar servicios de alta capacidad ante una demanda creciente de dichos servicios no sería ningún inconveniente. En la ilustración 39 se muestra el ancho de banda mínimo requerido por cada servicio.

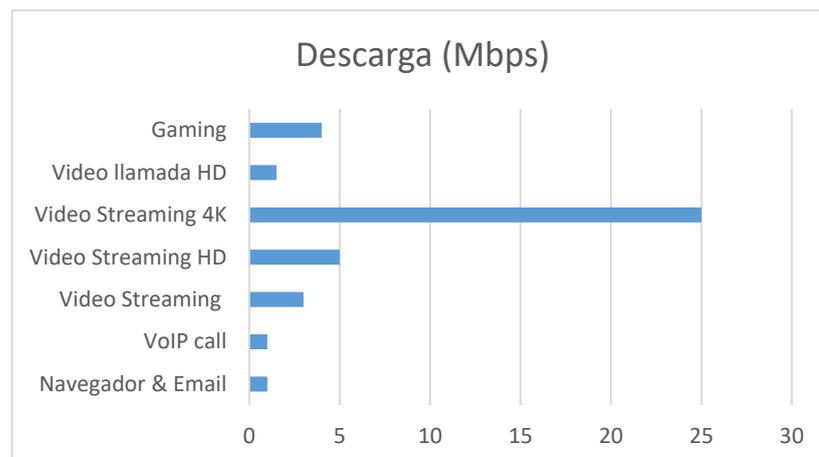


Ilustración 41-Ancho de Banda requerido por servicio

Fuente: Elaboración propia.

VI. CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las reflexiones finales y el análisis general de las variables establecidas en cada uno de los objetivos, de la misma forma se responde a las preguntas establecidas en el primer capítulo de este proyecto investigación de acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

- a. Se presentó un diseño detallado de una red GPON para brindar servicio a 256 usuarios seleccionando una localidad piloto (centro de la ciudad de Choloma), se realizó el cálculo de atenuación en los sitios de cobertura y se presupuestó los equipos, materiales y accesorio necesarios, así como la instalación de la fibra óptica de planta externa.
- b. Con el diseño propuesto y de acuerdo a los niveles de splitter se tiene una red para brindar servicio a un máximo de 256 usuarios resultantes de la suma total de cada puerto PON que garantizan 38.875Mbps por usuario con niveles de latencia entre router y cliente 0ms a 2ms y para acceder al internet entre 27ms a 28ms.
- c. Para dar validez al diseño se realizó el cálculo de la atenuación para las ubicaciones seleccionadas obteniendo resultados con valores de pérdidas de atenuación entre el rango de -18.86 dBm a -19.56, dichos valores son óptimos para el funcionamiento de las ONU's.
- d. En los resultados de los costos se presupuestó los materiales y equipos necesarios en planta externa, planta interna e instalación de la fibra. En la planta externa se presentan los costos más altos en comparación a los demás costos. El costo total presupuestado fue de L.652,998.933.

VII. RECOMENDACIONES

En este capítulo final se presentan las sugerencias de esta investigación que surgen de acuerdo a las conclusiones anteriores sobre el diseño de la red GPON propuesta. Dichas recomendaciones conforman otras actividades o consideraciones necesarias para ayudar y potenciar la implementación de este caso de estudio.

- Identificar las zonas de mayor densidad de clientes con que cuentan el proveedor de internet inalámbrico para un despliegue más eficaz de la fibra óptica. Además, apoyarse en un estudio económico en la localidad para ofrecer paquetes de ancho de banda mayor.
- Capacitar al personal técnico y de ingeniería de la empresa proveedora de internet inalámbrico sobre redes de fibra óptica; diseño, instalación y mantenimiento.
- Debido a que la red diseñada pretende dar servicio a 256 usuarios de presupuesto la totalidad de materiales y equipos, se recomienda a los proveedores de internet presupuestar dispositivos finales en menor cantidad.
- Crear un enlace de fibra óptica mediante la red Gpon para nodos de servicio inalámbrico con alta demanda de tráfico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abreu, M., Castagna, A., Cristiani, P., Zunino, P., Roldós, E., & Sandler, G. (2009). Características Generales de una red de Fibra Óptica al Hogar (FTTH). *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, 38-46. <http://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/270>
2. Andrews, J. G., Ghosh, A., & Muhamed, R. (2007). *Fundamentals of Wimax Understanding Broadband Wireless Networking*. Westford: Pearson Education.
3. Aristizabal, V. H. (2007). Introducción a la Tecnología de Fibras Ópticas y Análisis Numérico de la Propagación de la Luz en Fibras Micro-Estructuradas. 141-165. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3442/344234312007>
4. Black Box Network Services. (2020). *Black Box* .<https://www.blackbox.com.mx/mx-mx/page/28535/Recursos/Technical/black-box-explica/Fibre-Optic-Cable/Cable-de-fibra-optica-multimodo-vs-monomodo>
5. Bravo Torres, J. (2010). Wimax Movil. *Ingenius Revista de Ciencia y Tecnología*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=505554807003>
6. Buettrich, S. (Octubre de 2007). Unidad 06: Cálculo de Radioenlace. http://itrainonline.org/itrainonline/mmtk/wireless_es/files/06_es_calculo-de-radioenlace_guia_v02.pdf
7. Castro Lechtaler, A. (2013). *Comunicaciones: Una Introducción a las redes digitales de transmisión de datos y señales isócronas*. Buenos Aires: Alfaomega Grupo Editor.
8. Chatterjee, S., & Pawlowski, S. (1999). Communications of the ACM. *All-optical networks Enlightening the effects and implications of nearly infinite bandwidth*. <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/303849.303865>
9. Cisco. (Octubre de 2013). CCNA 200-120.
10. Daros, W. R. (2002). ¿Qué es un marco teórico? *Redalyc*, 73-112. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=259/25914108>
11. Fiber Broadband. (2019). FIBRA ÓPTICA CONECTANDO LA AMERICA LATINA. 11. www.fiberbroadband.org/latamchapter
12. Flickenger, R. (2008). *Redes Inalambricas en los Paises de Desarrollo*. Hacker Friendly LLC. <https://libros.metabiblioteca.org/bitstream/001/229/8/>
13. Garcia, M., Lloret, J., Edo, M., & Lacuesta, R. (2009). *IPTV Distribution Network Access System Using WiMAX and WLAN Technologies*. New York: Association for Computing Machinery. doi:10.1145/1552486.1552513
14. González Calvo, A. (10 de Junio de 2018). *Universitat Oberta de Catalunya*. <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/80705/3/agonzalezcalvTFG0618memoria.pdf>
15. Intel. (2020). *Intel*. <https://www.intel.com/content/www/us/en/support/articles/000005725/network-and-i-o/wireless-networking.html>
16. ITU-T. (Marzo de 2008). *TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF ITU*. Obtenido de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1>

17. Leguizamón, G. P., Ortega, B., Capmany, J., Cardona, K., & Fajardo, C. S. (2008). Evolución de las redes de datos: Hacia una plataforma de comunicaciones completamente óptica. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 148-156.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n45/n45a13.pdf>
18. López Bonilla, M., Moschin, E., & Rudge Barbosa, F. (2009). ESTUDIO COMPARATIVO DE REDES GPON Y EPON. *Scientia Et Technica*, 321-326.
<https://www.redalyc.org/pdf/849/84916680058>
19. Montoya-Castro, S. A., Herrera-Duran, M., & Barrera-Ramírez, J. F. (2017). Límites de velocidad y distancia en la transmisión de información por un enlace óptico de bajo costo con recuperación libre de ruido. *DYNA*. doi:10.15446/dyna.v84n201.59339
20. Perahia, E., & Stacey, R. (2013). *Next Generation Wireless LAN 802.11n and 802.11ac*. St Ives: Cambridge University Press.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=QZggAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR19&dq=802.11&ots=NVxsoxPjNL&sig=pEOX_BdjfRXQ_k9deXjGN4lgBdl#v=onepage&q=802.11&f=false
21. Quisnancela, E., & Espinosa, N. (2016). *Redalyc*.
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/5722/572261626002/index.html?lang=es>
22. RF Elements. (2019). *RF Elements*. <https://rfelements.com/assets/Uploads/Product-Catalog-Spring-2019-EN.pdf>
23. Syscom. (2020). *Syscom*. <http://soporte.syscom.mx/es/articles/3760050-fibra-monomodo-vs-fibra-multimodo>
24. Takagi, E. (15 de Marzo de 2015). *Wing Corporation*. Obtenido de Wing Corporation: <https://www.tele.soumu.go.jp/resource/j/equ/mra/pdf/26/e12-2.pdf>
25. Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicacion Electronica*. Mexico: Pearson Education.
26. Tower Coverage. (Mayo de 2020). *Tower Coverage*. Tower Coverage: <https://www.towercoverage.com/?r=Northamericamap>
27. Ubiquiti. (2014). *Ubiquiti*. https://dl.ubnt.com/datasheets/airmax/UBNT_DS_airMAX_TDMA.pdf
28. Ubiquiti. (2020). *Ubiquiti*. Obtenido de <https://help.ui.com/hc/en-us/articles/205197750-airMAX-Which-product-should-I-use->
29. Villegas, E. G., Lopez-Aguilera, E., Vidal, R., & Paradells, J. (2007). Effect of adjacent-channel interference in IEEE 802.11 WLANs. Orlando, Florida, Estados Unidos.
doi:10.1109/CROWNCOM.2007.4549783.
30. Yunquera Torres, J. J. (2005). *e-REdING Trabajos y proyectos fin de estudios de la E.T.S.I.*
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11138/fichero/memoria%252FCapitulo+3.pdf+>

ANEXOS

Anexo-1 Planos con Georreferencia



Fuente: Elaboración propia

Anexo-2 Especificaciones OLT

4-Port GPON Optical Line Terminal (Model: UF-OLT-4)	
Dimensions	299.80 x 258.95 x 42.55 mm (11.80 x 10.19 x 1.68")
Weight (with Mount Brackets)	1.93 kg (4.25 lb) 2.13 kg (4.70 lb)
Networking Interfaces	(4) GPON OLT SFP (1) 1G/10G SFP+
Concurrent Clients	512 Registered ONUs/ONTs (128 per GPON Port)
Management Interfaces	(1) Ethernet for Out-of-Band Management (1) RJ45 Serial Console Port (1) Uplink for In-Band Management
GPON Speeds	2.488 Gbps Downstream 1.244 Gbps Upstream
Operating Wavelengths	1490 nm TX 1310 nm RX
Normal Optical Power Range	TX (Class B+): 1.5 to 5 dBm RX: -28 to -8 dBm
Max. Fiber Distance	20 km*
Power Method	100-240VAC, 50/60 Hz, Universal Input 24VDC
Power Supply	AC/DC Internal 56W DC
Max. Power Consumption	35W (Excluding SFP Modules)
Operating Mode	OLT GPON Core and Layer 2 Ethernet Switch
Advanced QoS	Supports 8 Priority Queues per User Port and Traffic Classification
Processor Specs	MIPS 1004kc, 880 MHz Dual Core
Memory Information	512 MB DDR3, 512 MB NAND
Operating Temperature	-10 to 45° C (14 to 113° F)
Operating Humidity	10 to 90% Noncondensing
Certifications	CE, FCC, IC



Fuente: (Ubiquiti, 2019)

Anexo-3 Especificaciones ONU

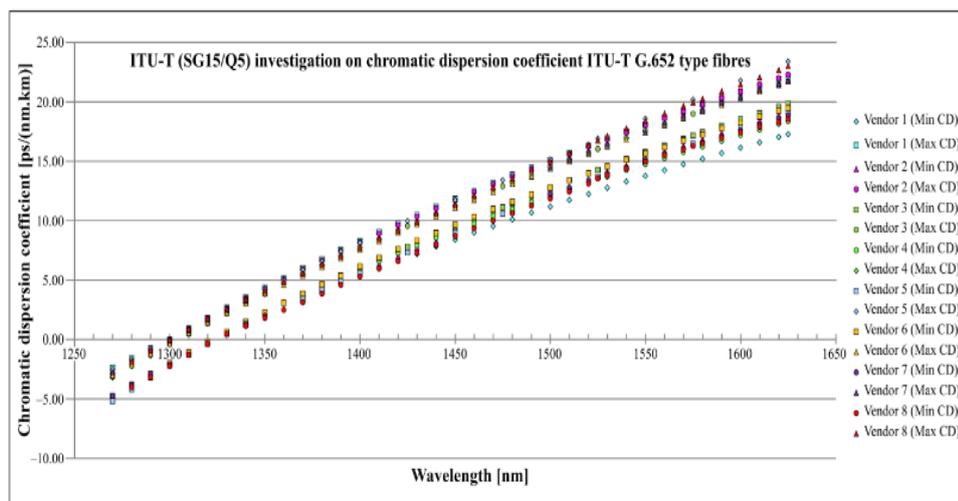
UFiber loco (Model: UF-LOCO)	
Dimensions	76.5 x 76.5 x 26.4 mm (3.01 x 3.01 x 1.04")
Weight	77 g (2.72 oz)
Networking Interfaces	(1) SC/APC, GPON WAN (1) Gigabit RJ45, Ethernet LAN
Networking Interface Speeds	2.488 Gbps Downstream 1.244 Gbps Upstream
GPON WAN, ITU G.984	
GbE LAN	10/100/1000 Mbps
Management Interface	In-Band Ethernet/PON
Normal Optical Power Range	TX (Class B+): 1.5 to 5 dBm RX: -28 to -8 dBm
Power Method	Micro-USB: 5V, 1A 24V Passive PoE (Pins +4, 5; -7, 8)
Power Supply	Micro-USB Power Adapter*: 5V, 1A
Max. Power Consumption	3.5W
Supported Voltage Range	4.7 to 5.3V
Processor Specs	MIPS32, 240 MHz
Memory Information	128 MB DDR3
Buttons	(1) Reset
Operating Temperature	-10 to 45° C (14 to 113° F)
Operating Humidity	10 to 90% Noncondensing
Certifications	CE, FCC, IC



Fuente: Fuente: (Ubiquiti, 2019)

Anexo-4 Investigación sobre dispersión cromática máxima y mínima para fibras tipo G.652.D.

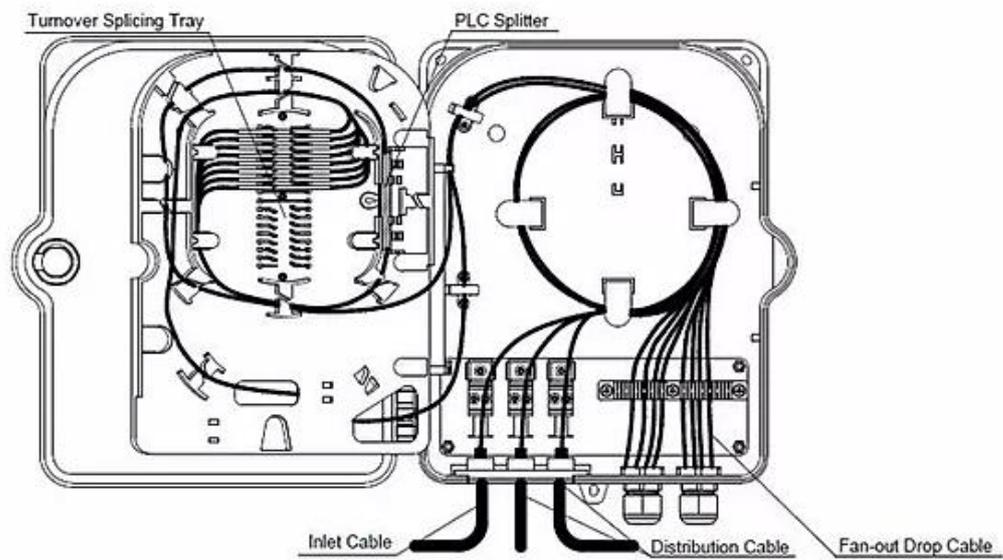
La investigación de la dispersión cromática se ha llevado a cabo en cooperación con ocho fibras principales, proveedores, todos los miembros de ITU-T SG15 / Q5 en el momento del estudio. En este examen todos se incluyeron fibras de tipo G.652.D, incluidas fibras G.657.A y núcleo de sílice puro basado en G.652.D, realizado en el 2014.



G.652(16)_Fil.1

Fuente: (ITU-T, 2016)

Anexo-5 Caja de distribución NAP



Fuente: (Solution FTTX, 2018)