



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE RED DE FIBRA ÓPTICA CON TECNOLOGÍA GPON PARA BRINDAR  
SERVICIOS DE TELEFONÍA MÓVIL EN PATZÚN, CHIMALTENANGO**

**Erik Fernando Yos Magzul**

Asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar

Guatemala, enero de 2021



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE RED DE FIBRA ÓPTICA CON TECNOLOGÍA GPON PARA BRINDAR  
SERVICIOS DE TELEFONÍA MÓVIL EN PATZÚN, CHIMALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ERIK FERNANDO YOS MAGZUL**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS EDUARDO GUZMÁN SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

GUATEMALA, ENERO DE 2021



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Inga. Aurelia Anabella Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christina Moisés De La Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Ángel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. Julio Cesar Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Tatiana Violeta Vallejo de León
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DE RED DE FIBRA ÓPTICA CON TECNOLOGÍA GPON PARA BRINDAR SERVICIOS DE TELEFONÍA MÓVIL EN PATZÚN, CHIMALTENANGO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha de 25 de octubre de 2018.



**Erik Fernando Yos Magzul**

Guatemala, 4 de septiembre de 2019

Ingeniero  
Julio César Solares Peñate  
Coordinador Área de Electrónica  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

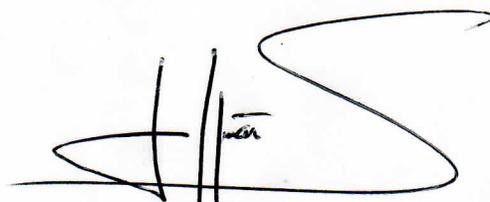
Estimado ingeniero Solares:

Por medio de la presente informo a usted que he concluido la revisión del trabajo de graduación del estudiante **Erik Fernando Yos Magzul**, titulado:

**DISEÑO DE RED DE FIBRA ÓPTICA CON TECNOLOGÍA GPON PARA BRINDAR SERVICIOS DE TELEFONÍA MÓVIL EN PATZÚN, CHIMALTENANGO**

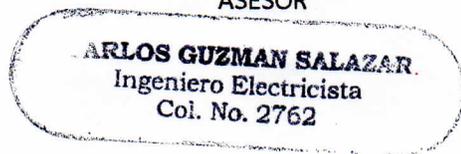
Indicando que el mismo ha cumplido con los objetivos que se propusieron para su elaboración. Por lo que, doy mi aprobación al mismo. Tanto el estudiante Yos Magzul, como el suscrito somos responsables por el contenido de este.

Reciba un cordial saludo.



Carlos Guzmán Salazar

ASESOR





Guatemala, 17 de agosto de 2020

**Señor Director**  
**Armando Alonso Rivera Carrillo**  
**Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica**  
**Facultad de Ingeniería, USAC**

Estimado Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE RED DE FIBRA ÓPTICA CON TECNOLOGÍA GPON PARA BRINDAR SERVICIOS DE TELEFONÍA MÓVIL EN PATZÚN, CHIMALTENANGO**, desarrollado por el estudiante **Erik Fernando Yos Magzul**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'Julio César Solares Peñate'.

**Ing. Julio César Solares Peñate**  
**Coordinador de Electrónica**

REF. EIME 260.2020.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área , al trabajo de Graduación del estudiante Erik Fernando Yos Magzul titulado: **DISEÑO DE RED DE FIBRA ÓPTICA CON TECNOLOGÍA GPON PARA BRINDAR SERVICIOS DE TELEFONÍA MÓVIL EN PATZÚN, CHIMALTENANGO**, procede a la autorización del mismo.



Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo

Guatemala, 6 de octubre de 2020.

DTG. 001.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE RED DE FIBRA ÓPTICA CON TECNOLOGÍA GPON PARA BRINDAR SERVICIOS DE TELEFONÍA MÓVIL EN PATZÚN, CHIMALTENANGO**, presentado por el estudiante universitario: **Erik Fernando Yos Magzul**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



ing. Anabela Cordova Estrada  
Decana

Guatemala, enero 2021.

AACE/asga



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme el privilegio de la vida, por ser mí guía, inspiración y mi aliento en los momentos más difíciles.
- Mis padres** Timoteo Yos Julian y Florentina Magzul Patal de Yos por creer en mí, por su sacrificio incondicional, por ser un ejemplo de superación y una inspiración en mi vida.
- Mis hermanos** Andrea Patricia, Aleida Hepsiba y Josue Isai Yos Magzul por sus consejos, su compañía y su apoyo durante todo este tiempo.
- Mi sobrina** Arely Noemi Ajú Yos, por permitirme ser parte de su vida.
- Mis abuelos** Por creer en la educación y luchar por la superación de sus hijos, nietos y bisnietos.
- Mis tíos** Por sus ejemplos de superación y sus valiosos consejos.
- Mis amigos** Por haberme permitido formar parte de sus vidas.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por haberme permitido formar parte de tal honorable y majestuosa universidad.

**Facultad de Ingeniería**

Por ser mí segundo hogar en la búsqueda del conocimiento.

**Escuela de Mecánica  
Eléctrica**

Por haberme formado en el camino del conocimiento.

**Ing. Carlos Guzmán**

Por su valiosa asesoría.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. MARCO TEORICO.....	1
1.1. Patzún .....	1
1.1.1. Historia .....	1
1.1.2. Población.....	1
1.2. Fibra óptica.....	3
1.2.1. Tipos de fibra óptica .....	4
1.2.1.1. Monomodo.....	4
1.2.1.2. Multimodo .....	5
1.3. Parámetros de la fibra óptica.....	5
1.3.1. Atenuación.....	5
1.3.2. Pérdidas por absorción.....	6
1.3.3. Pérdidas por dispersión .....	6
1.3.4. Dispersión.....	8
1.3.5. Dispersión modal .....	8
1.3.6. Dispersión cromática de material.....	8
1.3.7. Dispersión cromática de guía de onda .....	9
1.3.8. Dispersión de modo de polarización.....	9
1.4. Tecnología PON.....	9

1.5.	GPON.....	10
1.5.1.	Cálculo de atenuación total .....	13
2.	RED MÓVIL .....	15
2.1.	Historia .....	15
2.2.	Primera generación .....	18
2.3.	Segunda generación .....	19
2.3.1.	GSM .....	20
2.3.2.	Generación 2.5G .....	21
2.3.3.	Servicio general de paquetes vía radio (GPRS) .....	21
2.3.4.	Datos conmutados por circuitos de alta velocidad (HSCSD) .....	22
2.3.5.	Proporción de datos mejorados para la evolución GSM (EDGE).....	22
2.4.	Tercera generación .....	22
2.4.1.	Código de división de múltiple acceso (CDMA).....	23
2.5.	Cuarta generación.....	23
3.	DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE LA RED.....	27
3.1.	OLT .....	27
3.1.1.	Módulos.....	27
3.2.	ONT y MDU.....	30
3.3.	Red de acceso .....	33
3.3.1.	Acceso alámbrico .....	33
3.3.2.	Acceso inalámbrico .....	34
3.4.	Radio bases .....	34
4.	DISEÑO DE RED GPON PARA SERVICIOS MÓVILES .....	39
4.1.	Diseño para planta externa .....	39

4.1.1.	Diseño de planta externa.....	39
4.1.2.	Cálculos para PLEX.....	42
4.2.	Diseño lógico.....	49
4.2.1.	Configuraciones en OLT.....	49
4.2.2.	Traffic Profile.....	52
4.2.3.	Line Profile.....	53
4.2.4.	VLAN.....	54
4.2.5.	T-CONT.....	55
4.2.6.	GEM.....	57
4.3.	Configuración en MDU.....	59
4.3.1.	Line profile.....	60
4.3.2.	Traffic Profile.....	60
4.3.3.	VLAN.....	61
4.3.4.	Service Port.....	62
4.4.	Presupuesto.....	63
4.4.1.	Planta externa.....	64
4.4.2.	Equipos.....	64
	CONCLUSIONES.....	67
	RECOMENDACIONES.....	69
	BIBLIOGRAFÍA.....	71



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mapa del casco urbano Patzún .....	2
2.	Vista del casco urbano Patzún .....	3
3.	Construcción básica de FO .....	4
4.	Topología de red GPON .....	12
5.	Frecuencias AMPS .....	18
6.	Arquitectura GSM .....	21
7.	Evolución de sistemas móviles .....	24
8.	Velocidad teórica por usuario .....	25
9.	OLT Huawei SmartAX EA5800-X7 .....	28
10.	OLT NOKIA 7360 ISAM FX-4 .....	29
11.	OLT ZTE ZXA10 C320 .....	29
12.	ONT ZTE ZXA10 F601 .....	31
13.	ONT NOKIA 7368 ISAM ONT G-240W-B .....	32
14.	MDU Huawei MA5620 .....	32
15.	MDU DASAN V1916GR .....	33
16.	Antena omnidireccional 4G de 6dBi 700-2170MHz .....	35
17.	Antena sectorial 2CPX208R-V3 .....	36
18.	Diagrama de conexión .....	40
19.	Diseño general. ....	41
20.	Diseño general PLEX realizado en Google Earth .....	41
21.	Distancia principal realizado en Google Earth .....	43
22.	Celda 1 realizad en Google Earth .....	43
23.	Celda 2 realizad en Google Earth .....	44

24.	Celda 3 realizad en Google Earth .....	45
25.	Distancia principal realizad en Google Earth.....	46
26.	Celda 4 realizad en Google Earth .....	46
27.	Celda 5 realizad en Google Earth .....	47
28.	Celda 6 realizad en Google Earth .....	48

## TABLAS

I.	Rangos de atenuación .....	13
II.	Pérdidas en splitter .....	13
III.	Sistemas de segunda generación.....	20
IV.	Consideraciones para PLEX.....	40
V.	Simbología.....	42
VI.	Resumen de cálculos PLEX .....	48
VII.	Ejemplo de distribución de capacidades.....	50
VIII.	Distribución de capacidades .....	51
IX.	Configuración de DBA .....	51
X.	Configuración de Traffic Profile.....	52
XI.	Configuración de Line Profile .....	53
XII.	Asignación de VLANs .....	54
XIII.	Configuración de VLANs.....	55
XIV.	Clases de T-CONT .....	56
XV.	Asignación de T-CONT .....	56
XVI.	Configuración de T-CONT .....	57
XVII.	Configuración de GEM-T-CONT .....	58
XVIII.	Asignación de GEM MAPPING.....	58
XIX.	Configuración de GEM MAPPING .....	59
XX.	Configuración de Line Profile MDU.....	60
XXI.	Configuración de Traffic Profile MDU.....	61

XXII.	Configuración de VLAN MDU.....	62
XXIII.	Configuración de Service Port.....	63
XXIV.	Costo de fibra óptica .....	64
XXV.	Costo de materiales pasivos .....	64
XXVI.	Costo de equipo .....	65
XXVII.	Costo total .....	65



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>dB</b>	Decibeles
<b>dB/Km</b>	Decibelio por kilómetro
<b>Gbit/s</b>	Gigabit por segundo
<b>GEM</b>	GPON encapsulation mode
<b>Khz</b>	Kilohertzios
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>Mbps</b>	Megabit por segundo
<b>nm</b>	Nanómetro
<b>ns</b>	Nanosegundo
<b><math>\lambda</math></b>	Lambda



## **GLOSARIO**

<b>ALGORITMOS</b>	Conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permite hacer un cálculo y hallar la solución de un tipo de problemas.
<b>AMPS</b>	Advanced Mobile Phone System.
<b>ANCHO DE BANDA</b>	Capacidad de información o de datos que tiene o puede manejar una red.
<b>ATENUACIÓN</b>	Disminución de la intensidad, la importancia o el valor de un hecho o de un suceso.
<b>ATM</b>	Asynchronous Transfer Mode.
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access.
<b>CONCÉNTRICAS</b>	Que tiene el mismo centro que otro.
<b>CUARZO</b>	Óxido de silicio que se presenta en cristales hexagonales o en masas cristalinas o compactas, con diversos colores y grados de transparencia.
<b>DIGITALIZACIÓN</b>	Se considera digitalizar la transcripción de señales analógicas en señal digital, denominado proceso de conversión analógica-digital.

<b>EDGE</b>	Enhanced Data Rates for Global Evolution.
<b>ESPECTRAL</b>	Del espectro o relacionado con él.
<b>ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO</b>	Es una distribución energética, un conjunto de longitudes de onda de radiaciones electromagnéticas.
<b>FCC</b>	Federal Communications Commission.
<b>FIBRA ÓPTICA</b>	Formado por guía de ondas dieléctrica que opera a frecuencias ópticas (FO).
<b>FM</b>	Frecuencia Modulada.
<b>FTTH</b>	Fiber To The Home.
<b>GGSN</b>	Gateway GPRS Support Node.
<b>GPON</b>	Gigabit-capable Passive Optical Network.
<b>GPRS</b>	General Packet Radio System.
<b>GSM</b>	Sistema Global para Comunicaciones Móviles.
<b>HADWARE</b>	Conjunto de elementos físicos o materiales que constituyen una computadora o un sistema informático.

<b>HFC</b>	Hybrid Fiber-Coaxial.
<b>HIDROXILO OH</b>	Radical compuesto de un átomo de oxígeno y uno de hidrógeno, que se encuentra presente en los hidróxidos y en las disoluciones acuosas básicas.
<b>HSCSD</b>	High Speed Circuit Switched Data.
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
<b>IMTS</b>	Improved Mobile Telephone Service.
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union.
<b>LAN</b>	Local Area Network.
<b>Led</b>	Sigla de la expresión inglesa light-emitting diode, 'diodo emisor de luz', que es un tipo de diodo empleado en computadoras, paneles numéricos (en relojes digitales, calculadoras de bolsillo...).
<b>MDU</b>	Multi Dwelling Unit.
<b>MICRAS</b>	Medida de longitud, de símbolo $\mu$ , que es la millonésima parte de un metro.

<b>MICROPROCESADOR</b>	Procesador de muy pequeñas dimensiones en el que todos los elementos están agrupados en un solo circuito integrado.
<b>MOLÉCULAS</b>	Agrupación definida y ordenada de átomos que constituye la porción más pequeña de una sustancia pura y conserva todas sus propiedades.
<b>MUESTREO</b>	Se denomina muestreo al proceso de digitalización de señales analógicas.
<b>MULTICANALIZACIÓN</b>	Es cuando se usa Fibra Óptica para transmitir varias señales, cada una de ellas con distinta longitud de onda.
<b>MULTIPLEXACIÓN</b>	Es la técnica de combinar dos o más señales, y transmitir las por un solo medio de transmisión.
<b>PLEX</b>	Planta externa.
<b>POTENCIA</b>	Capacidad para producir trabajo, que se mide por la cantidad de trabajo realizado por una fuerza en una unidad de tiempo.
<b>REFRACCIÓN</b>	Cambio de dirección de un rayo de luz u otra radiación que se produce al pasar oblicuamente de un medio a otro de distinta densidad.
<b>SDH</b>	Synchronous Digital Hierarchy.

<b>SOFTWARE</b>	Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.
<b>TDM</b>	Time Division Multiplexing.
<b>TRANSISTORES</b>	En electrónica, pequeño dispositivo semiconductor que cierra o abre un circuito o amplifica una señal; se emplea en circuitos integrados para generar bits (ceros y unos).
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telephone Service.
<b>WDM</b>	Wavelength Division Multiplexing.
<b>WIFI</b>	Wireless Fidelity.



## RESUMEN

Las telecomunicaciones han causado un gran impacto en la vida del ser humano, en la actualidad no se podría vivir sin todos los beneficios que ofrece.

En el municipio de Patzún, Chimaltenango se tienen varios problemas en cuanto a cobertura y capacidad correspondiente a los servicios móviles, en los siguientes capítulos se planteará una solución que pueda mitigar y brindar una gran mejora a dichos inconvenientes.

El presente trabajo no está enfocado al diseño de RF el mismo se enfoca en el de transmisión, por ese motivo en los próximos capítulos se centrará en la solución, por medio de fibra óptica que en la actualidad es una de las soluciones más efectivas frente a la gran demanda de ancho de banda.

La tecnología GPON es una de las más importantes en la actualidad, brinda una solución de bajo costo para soluciones con fibra óptica, soluciones como FTTH están basadas en GPON.

El informe está enfocado al diseño de una red GPON para servicios de telefonía móvil, el mismo plantea la solución para planta externa en conjunto con la parte lógica que componen el diseño.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar una red de fibra óptica basada en la tecnología GPON que sea capaz de brindar servicios de red móvil de última milla.

### **Específicos**

1. Habilitar redes móviles de última milla con fibra óptica.
2. Implementar la tecnología GPON para servicios móviles.
3. Diseñar una red móvil capaz de brindar el ancho de banda necesario para servicios multimedia en alta definición.
4. Mejorar los servicios de red móvil en el municipio de Patzún, Chimaltenango.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad la mayoría de los sistemas de transmisión de última milla se realizan con enlace de Microondas, esto debido a varias causas. Uno de los inconvenientes con este medio de transmisión es el ancho de banda que puede proporcionar, ya que de cierta manera está limitado por varios factores, otro de los inconvenientes es la cantidad de enlaces que se pueden realizar desde una central hacia el punto final, de igual manera se encuentra limitado por diversas razones entre las cuales se encuentra la cantidad de frecuencias, altura de torre, distancia del enlace, entre otros.

Por esta razón es necesaria la implementación de nuevos sistemas de transmisión basados en fibra óptica.

La transmisión basada en este medio se ha convertido en la solución más eficiente para satisfacer la demanda de ancho de banda para servicios que lo requieren. Uno de estos son los servicios móviles de la tecnología 4G, que tienen una gran demanda de ancho de banda para cubrir servicios de audio, datos y video.

Por tal motivo se pretende diseñar una red de fibra óptica basada en la tecnología GPON (Gigabit-capablePassiveOptical Network), para la habilitación de red móvil de última milla.



# **1. MARCO TEORICO**

## **1.1. Patzún**

El nombre proviene del Kachiquel Pa Su'm, Pa= prefijo de lugar y Su'm=Girasol, lo cual se interpreta como Lugar de Girasoles.

### **1.1.1. Historia**

Patzún es uno de los municipios del departamento de Chimaltenango, el municipio fue fundado antes de la conquista aproximadamente en el siglo XII. El municipio fue parte del territorio Kachiquel, la información que se tiene del mismo indica que perteneció o fue parte del reino de Iximché.

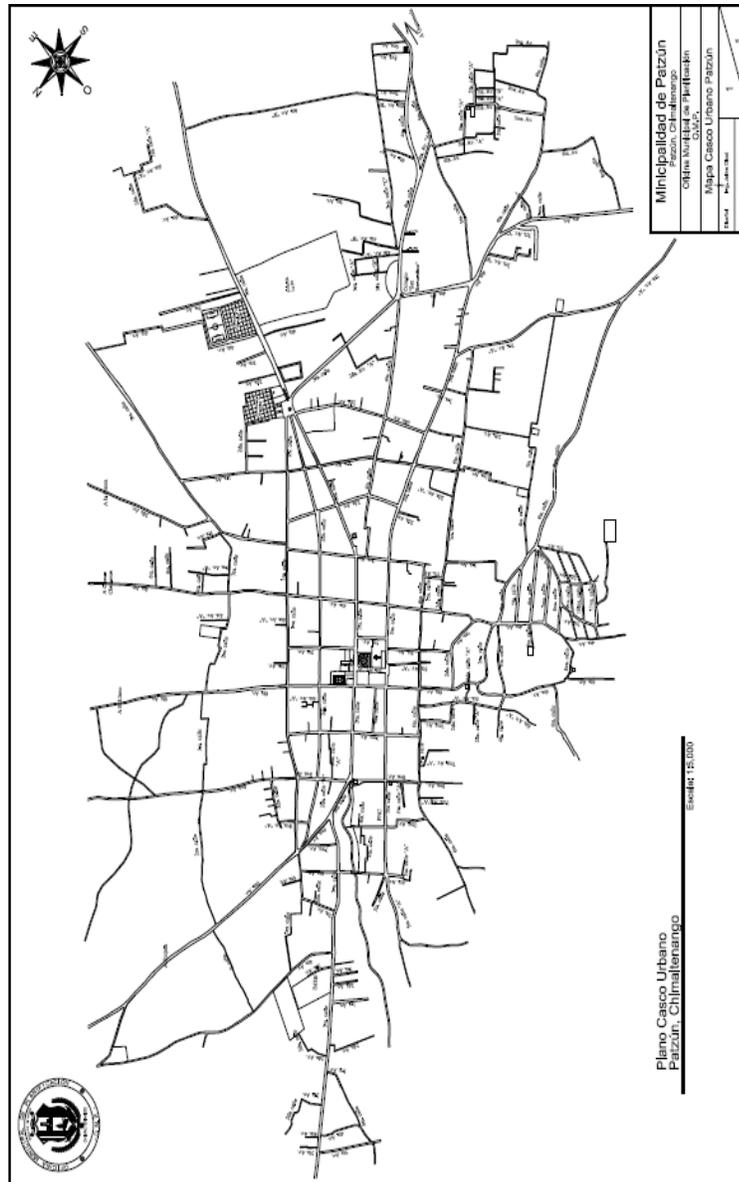
En el año de 1540 la orden Franciscana perteneciente a la iglesia católica arribo al municipio, su llegada fue de gran trascendencia, a ellos se debe la construcción de la iglesia parroquial y la institución del patrono San Bernardino de Siena que al día de hoy perdura y es celebrado cada 20 de mayo.

### **1.1.2. Población**

La población en su mayoría se dedica a la agricultura siendo uno de sus principales productos el maíz. El municipio cuenta aproximadamente con un total de 55,265 habitantes los cuales cuentan con un crecimiento anual aproximado de 3,4 %. Cuenta con un 39 % de personas en un rango de edad de entre 5 y 19 años por lo cual se considera como una población en su mayoría joven.

En el área urbana las familias están en promedio conformadas por cinco integrantes, mientras que en el área rural están conformadas por 8 integrantes.

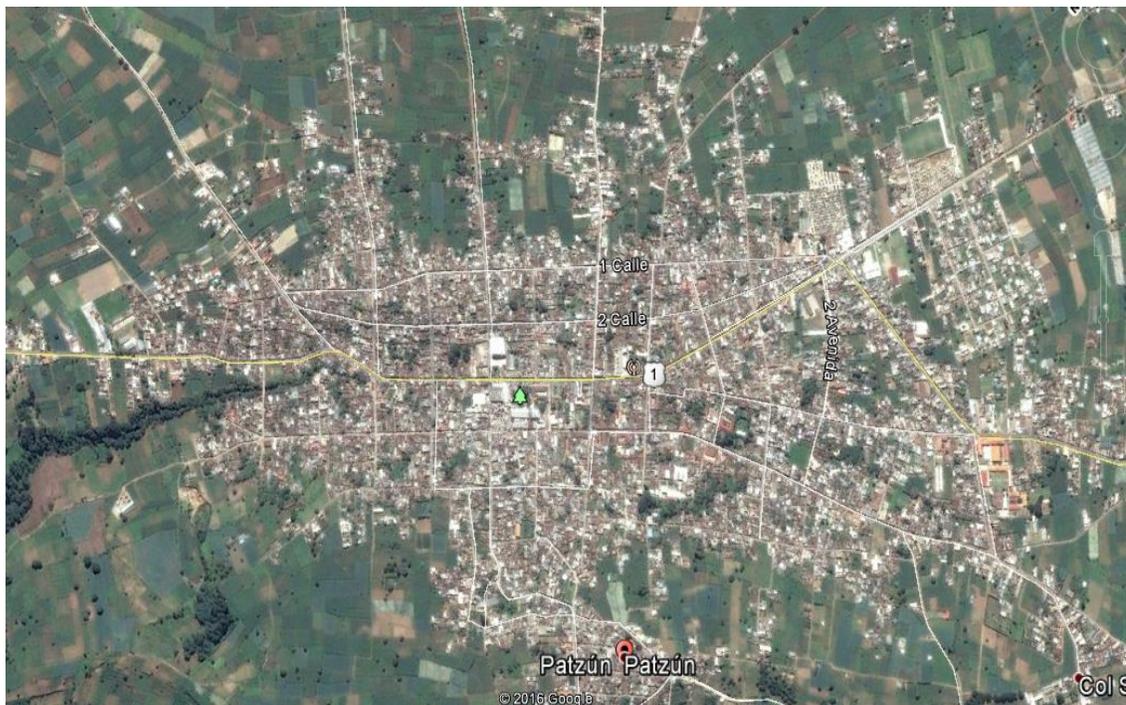
Figura 1. **Mapa del casco urbano Patzún**



Fuente: Municipalidad de Patzún. *Historia*. [www.patzun.gob.gt/index.php/municipio/historia](http://www.patzun.gob.gt/index.php/municipio/historia).

Consulta: octubre de 2018.

Figura 2. **Vista del casco urbano Patzún**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth 2016.

## 1.2. **Fibra óptica**

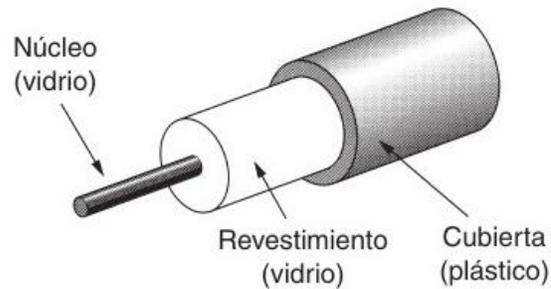
Consiste en dos partes concéntricas, la interna es un filamento transparente llamado núcleo, el diámetro suele comprender entre 8 y 600 micras esto dependiendo del tipo de fibra óptica, el índice de refracción es superior a la región externa.

La parte exterior contiene un revestimiento de cuarzo o plástico y de igual manera el núcleo. Si se inyectada luz en un extremo de la fibra, esto con un ángulo determinado llamado apertura numérica, esta luz será reflejada cada vez que incida en el límite del núcleo-revestimiento, la luz será reflejada n veces hasta que pueda salir en su otro extremo, a esto se le denomina reflexión total interna.

Los componentes básicos de la fibra óptica son los siguientes:

- Core (núcleo)
- Cladding (revestimiento)
- Refuerzo.
- Envoltura o forro

Figura 3. **Construcción básica de FO**



Fuente: Crea Teo Soft. *Proyecto y diseño de fibra óptica*. <http://createcsoft.com/servicios/voz-y-datos-redes-ip/proyectos-y-diseno-de-fibra-optica>. Consulta: octubre de 2018.

### 1.2.1. Tipos de fibra óptica

Por el modo de propagación de la luz, existen dos tipos:

- Monomodo
- Multimodo

#### 1.2.1.1. Monomodo

Corresponde a un tipo de una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Lo anterior se consigue al reducir el diámetro del núcleo a un tamaño de entre

8,3 a 10 micrones lo cual permite sólo un modo de propagación. La transmisión de esta es paralela al eje de la fibra. La fibra monomodo permite alcanzar grandes distancias la cual podría llegar hasta 400 km y de igual manera manejan grandes tasas de transmisión o información pudiendo llegar a las decenas de Gbit/s.

### **1.2.1.2. Multimodo**

Para este tipo de fibra los haces de luz pueden circular por más de un modo, pueden llegar a tener más de mil modos de propagación. Se utilizan en aplicaciones de corta distancia las cuales normalmente son menores a los 2 km, es simple y representa un diseño económico.

## **1.3. Parámetros de la fibra óptica**

A continuación, se muestran las principales pérdidas de potencia en la fibra óptica.

### **1.3.1. Atenuación**

La atenuación corresponde a la pérdida de potencia en la señal óptica a medida que la aumenta la distancia, esto significa que a mayor distancia mayor es la disminución de potencia. Los principales factores que generan estas pérdidas corresponden al material por el que se propaga y la longitud de onda que se está utilizando, a materiales más densos se obtienen mejores condiciones en cuanto a perforaciones, roturas u otros casos eventuales, la unidad en la que se expresa la atenuación es dB/Km, este dimensional permite visualizar la pérdida de luz en un Km, y se puede definir como la relación entre las potencias luminosas a la salida y entrada de la fibra. La pérdida de potencia puede provocar una disminución del ancho de banda, la tasa de transmisión, eficiencia y en general la capacidad de la red a la que pertenece. Los

principales factores de la fibra que intervienen con la atenuación son dos, las pérdidas por absorción y por dispersión.

### **1.3.2. Pérdidas por absorción**

Estas pérdidas corresponden principalmente a la impureza de los materiales, dichas impurezas absorben la luz que se transmite y la convierten en calor.

Las tres principales causas de absorción son:

- Rayos ultravioletas
- Rayos infrarrojos
- Por la presencia de iones hidroxilo OH

Las dos primeras corresponden a la interacción de las partículas de energía de onda electromagnética en la luz que viajan en la fibra, la tercera corresponde a la presencia de partículas de vapor de agua que permanecen en el material de la fibra, esto es consecuencia del proceso de su fabricación, se producen tres picos importantes, la primera en los 900 nm, la segunda en los 1200nm y la tercera en los 1400 nm, esta última tiene una atenuación aproximada de 0,04 dB/Km.

### **1.3.3. Pérdidas por dispersión**

Estas pérdidas corresponden a irregularidades físicas de la fibra, estas ocasionan cambios en el índice de refracción; porque al cambiar el índice de refracción la luz se dispersa y una parte se va a la cubierta lo que se conoce como el fenómeno de la difracción. La atenuación que presentan las fibras

ópticas tiene un mejor desempeño a ciertas longitudes de onda del espectro electromagnético a las que se les denomina ventanas y son las siguientes:

- Primera ventana
  - Rango: 800 a 900 nm
  - $\lambda$  central: 850 nm
  - Atenuación: 2,5 dB/km
  
- Segunda ventana
  - Rango: 1 250 a 1 350 nm
  - $\lambda$  central: 1 310 nm
  - Atenuación: 0,38 dB/km
  
- Tercera ventana
  - Rango: 1 500 a 1 600 nm
  - $\lambda$  central: 1 550 nm
  - Atenuación: 0,25 dB/km
  
- Cuarta ventana
  - Rango: 1 600 a 1 660 nm
  - $\lambda$  central: 1 625 nm
  - Atenuación: 0,20 dB/km
  
- Quinta ventana
  - Rango: 1 350 a 1 500 nm
  - $\lambda$  central: 1 470 nm
  - Atenuación: 0,30 dB/km

#### **1.3.4. Dispersión**

Es un fenómeno que se presenta cuando un pulso de luz se ensancha durante la transmisión por fibra provocando que la información se distorsione. La unidad en la que se expresa la dispersión generalmente es [ns/Km] y define la capacidad máxima por unidad de longitud que se puede transmitir, la dispersión es directamente proporcional a la longitud de la fibra, una fibra más larga causa un mayor ensanchamiento de los pulsos.

#### **1.3.5. Dispersión modal**

Este tipo de dispersión provoca que un pulso de luz se disperse mientras se propaga por la fibra, esto debido a que se tiene una diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz, los cuales toman diferentes trayectorias a través de la fibra. Generalmente se evalúa en nanosegundos como unidad de medida. La dispersión de un pulso tiene como consecuencia la interferencia en los pulsos adyacentes, a esto se le conoce como Interferencia entre Símbolos ISI. Con lo anterior se tiene un incrementando del Bit Error Rate (BER), en la red, para mitigar la misma se puede considerar el cambio a fibra monomodo o la utilización de fibras de índice gradual.

#### **1.3.6. Dispersión cromática de material**

Esta se encuentra relacionada con las fuentes de luz las cuales pueden producir otras longitudes de ondas no deseadas. La dispersión cromática afecta tanto a las fibras multimodo como a las monomodo, la misma tiene un incremento con la distancia de la fibra, se puede minimizar utilizando fuentes de luz de espectro estrecho. Esta dispersión se evalúa en nanosegundos (ns).

### **1.3.7. Dispersión cromática de guía de onda**

Se produce con las diferentes velocidades de los pulsos de luz, esto al viajar más cerca o más lejos del núcleo de la fibra, al tener revestimiento o núcleos diferentes los pulsos viajaran a diferente velocidad. Los pulsos con menor longitud de onda tienen mayor refracción, caso contrario con los de mayor longitud de onda.

### **1.3.8. Dispersión de modo de polarización**

Esta se da únicamente en las fibras monomodo cuando las componentes de un modo que se introduce en una fibra se desplaza con diferente velocidad, debido a los diferentes valores de índice de refracción los cuales llegan al otro extremo de la fibra en diferentes tiempos, generalmente se provoca cuando el núcleo no tiene el mismo índice de refracción o el mismo diámetro. El modo de polarización o PMD es generalmente utilizado en enlaces de alta velocidad en las cuales la dispersión cromática se ve reducida por la utilización de fibras de baja dispersión y fuentes de reducción de ancho espectral.

## **1.4. Tecnología PON**

Passive Optical Network (PON), es una arquitectura y se encuentra delimitada por la ITU y la IEEE, la misma se divide en dos, la basada en ATM y la basada en Ethernet. En la actualidad la tecnología que predomina es la GPON, esta es la evolución de PON.

En general PON es una red de fibra óptica de bajo costo que permite a los usuarios tener un mejor ancho de banda, dentro de los beneficios de esta red se encuentra la utilización de elementos únicamente pasivos eliminado de esta

manera los elementos activos de la red, esto implica un menor costo para el usuario, PON es generalmente utilizado en redes FTTH.

PON se conforma por los siguientes elementos:

- Optical Acces Network (OAN), es el conjunto de enlaces de acceso.
- Optical Line Termination (OLT), proporciona la interfaz de red entre la OAN y de la misma manera permite la conexión a una o varias ODN.
- Optical Distribution Network (ODN), proporciona la comunicación entre la OLT y el usuario.
- Splitter, es un divisor óptico pasivo, es el elemento que permite dividir la señal óptica y poder de esta manera retransmitir sin necesidad de un elemento activo.
- Optical Network Unit (ONU), permite la conexión entre el usuario y la OAN, esta se conecta a la ODN.

## **1.5. GPON**

Gigabit-capable PON es una tecnología perteneciente a la arquitectura PON, tiene las recomendaciones de la ITU-T G.984.1, G.984.2, G.984.3 y G.984.4. Es una red flexible capaz de soportar anchos de banda considerablemente grandes.

El principal objetivo de GPON es brindar un ancho de banda mucho más alto que sus anteriores predecesores, y brindar una mayor eficiencia para el transporte de servicios basados en IP.

GPON puede ser simétrica o asimétrica, la red puede proveer anchos de banda angostos para servicios de telefonía.

En general GPON tiene una velocidad de transmisión mayor o igual a 1,2 Gbit/s, GPON comúnmente maneja dos velocidades de transmisión las cuales se combinan de la siguiente manera:

- 1,2 Gbit/s en subida y 2,4 Gbit/s en bajada
- 2,4 Gbit/s en subida y 2,4 Gbit/s en bajada

En la red FTTH la configuración asimétrica es la más utilizada. Para estas redes se define una distancia máxima de 10 km o 20 km entre la ONU/ONT y la OLT, esto en la configuración de 1,25 Gbit/s o mayores.

Wavelength Division Multiplexing (WDM) es la multiplexación utilizada por GPON, esta le permite manejar información ascendente y descendente sobre el mismo medio de fibra. GPON es considerado un estándar con mucho potencial, pero de igual manera muy complejo, sin embargo, es capaz de ofrecer:

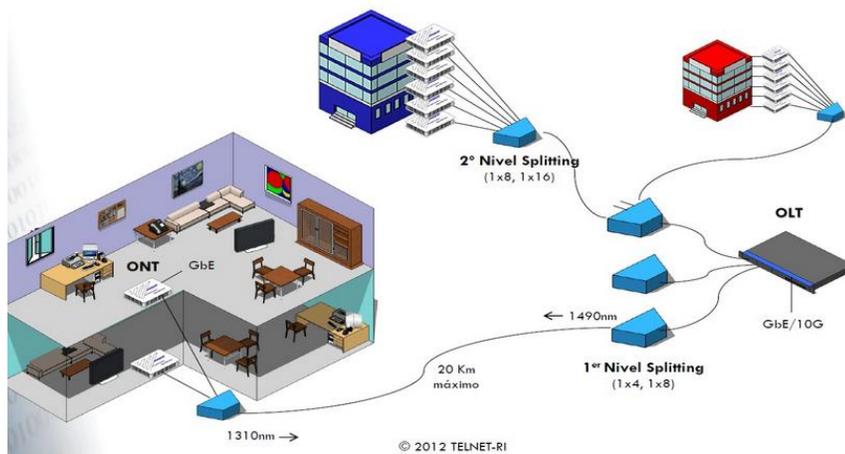
- Soporte global multiservicio: incluyendo voz, TDM, SONET, SDH, Ethernet 10/100 Base T, ATM, Frame Relay, entre otros.
- Un alcance físico de 20 km.
- Soporte para distintas tasas de transferencia, las que incluyen tráfico asimétrico de 2,5 Gbps en sentido descendente y 1,25 Gbps en sentido ascendente, simétrico de 622 Mbps, simétrico de 1,25 Gbps.

- Facilidad de gestión, mantenimiento y operación desde la OLT hacia ONT o usuario final.
- Permite un cifrado a nivel protocolo.

Tal cual se mencionó GPON ofrece un amplio soporte de servicios, esto lo realiza a través de su encapsulado GPON Encapsulation Method o GEM, de igual manera ofrece confiabilidad en la red SDH en cambios de protección automáticos y cambios de protección forzosos.

GPON está compuesta por la OLT, SPLITTER, ONT, Punto final y nodo origen o de transmisión.

Figura 4. **Topología de red GPON**



Fuente: CAPITALIA. *GPON. Introducción y conceptos generales.*  
<http://www.ccapitalia.net/?p=1189>. Consulta: octubre de 2018.

Tabla I. **Rangos de atenuación**

CLASE GPON	ATENUACIÓN EN dB
A	5-20
B	10-25
C	15-30
B+	13-28
C+	17-32

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Perdidas en splitter**

ATENUACIÓN EN dB	RELACIÓN ÓPTICA
-3,1	1:2
-6,02	1:4
-9,03	1:8
-12,04	1:16
-15,04	1:32
-18,07	1:64
-21,08	1:128

Fuente: elaboración propia.

### 1.5.1. **Cálculo de atenuación total**

Para realizar los cálculos de la atenuación total del enlace se utilizará la siguiente ecuación:

$$\text{Atenuación Total} = (\text{Atenuación Slitter 1} + \text{Atenuación Slitter 2} + \dots + \text{Slitter N}) + ([\text{Atenuación Fibra/km}] * [\text{Distancia}]) + (\text{Atenuación empalme} * \text{N empalmes}) + (\text{Atenuación conectores} * \text{N conectores})$$



## **2. RED MÓVIL**

### **2.1. Historia**

El 17 de junio de 1946 en San Luis, Missouri, Estado Unidos, AT&T introdujo el primer servicio telefónico móvil, este operaba en la banda de los 150 Mhz con 6 canales separados por 60 KHz. El sistema fue utilizado para enlazar usuarios que viajaban en automóviles hacia líneas fijas. El servicio fue aumentando y llego a más de 25 ciudades, un año después alcanzo 44 000 usuarios, el mismo se volvió insuficiente por la cantidad de usuarios que demandaba el servicio, el sistema estaba basado en FM.

Con esta tecnología se lograba cubrir una distancia de 80 km utilizando transmisores de alta potencia, la trasmisión por voz utilizaba un ancho de 3 KHz. Los canales FM evolucionaron a 120 KHz.

La capacidad se volvió insuficiente dada la gran demanda de usuarios que solicitaba el servicio de telefonía móvil, esto provoco que la red colapsara a tal grado que la probabilidad de bloqueo llego a ser mayor al 65 %, esto obligaba a los usuarios a no hablar en horas pico porque no lograban comunicarse. Las compañías telefónicas al verificar los problemas que enfrentaba se dieron cuenta que un conjunto de canales no era suficiente y que se necesitarían grandes bloques del espectro para poder cubrir la demanda solicitada.

En año de 1949 la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC), dispuso más canales los cuales fueron distribuidos a Bell System con un 50 % y la otra parte a Radio Common Carriers (RCC), esto se realizó con la intención de evitar

monopolios. A mediados 1950 en Estocolmo la empresa Ericsson logro crear el primer equipo de menor tamaño para viajar en auto, sin embargo, tuvieron que transcurrir 10 años más para tener un trasmisor más pequeño y de menor peso para introducirlo en el mercado.

En el año de 1956 Bell System brindó servicios en la banda de los 450 MHz, la cual ofrecía una mayor capacidad, 2 años después en 1958, la Richmond Radiotelephone Co. presento su sistema de marcado el cual podía conectar rápidamente las llamadas de un móvil a otro móvil.

Sistema Bell no se quedaría atrás y 2 años después en 1960 introdujo el Servicio Telefónico Móvil Mejorado (IMTS). El diseño en el transmisor y receptor fue mejorando y permitió la reducción del ancho de banda utilizado. Entre los años de 1960 y 1970 se comenzó con los primeros sistemas de telefonía celular, esto permitió que las frecuencias no fueran reutilizables en células adyacente para evitar interferencia en las mismas.

Bell System fue el primero en el rehúso de frecuencias el cual fue utilizado en la línea del tren de N.Y. hacia Washington, D.C. El sistema utilizaba 6 canales en la banda de los 450 MHz.

El desarrollo de Advanced Mobile Phone Service (AMPS), por Bell System fue aceptado y comenzó a ser utilizado por Arabia Saudita, Inglaterra y Japon entre otros, esto a finales de los 70s y principio de los 80s. Bell System utilizaba las bandas A y B, para poder evitar monopolio y generar competencia la FCC introdujo a otro proveedor el cual fue Ameritech el cual comenzó a operar en Chicago el 12 de octubre de 1983.

En el año de 1983 la compañía AT&T en conjunto con Motorola desarrollaron el modelo Dyna-TACS o TACS (Access Communications System), el mismo fue utilizado en Washington D.C. y Baltimore por la compañía Cellular One.

Mientras tanto en Europa surgían distintos sistemas celulares los cuales sufrían varios inconvenientes ya que eran incompatibles entre ellos, esto obligo a crea un sistema que unificara y solventara esta incompatibilidad.

En el año de 1989 surge el Sistema Global para Comunicaciones Móviles o GSM el cual sería el encargado de unificar los sistemas europeos.

En los 80s se comenzó a mostrar el interés por los sistemas digitales esto provocaría que, en los años de 1990 EE. UU introdujera el tráfico de voz de manera digital. Un año después en 1991 se comenzó a migrar a servicios digitales los cuales ofrecían menor costo y un mejoramiento en el control de sistemas celulares.

En el año de 1993 Qualcomm propone la utilización de espectro expandido esto para mitigar la gran demanda de usuarios en EE. UU., que en ese momento era mayor a los trece millones.

La incorporación del espectro expandido obliga a crear un nuevo sistema y es conocido como Code Division Multiple Access (CDMA), que sería el encargado de manejar los métodos de multiplexación en los sistemas digitales, CDMA ofrecía un incremento de 10 a 20 veces en cuanto a capacidad.

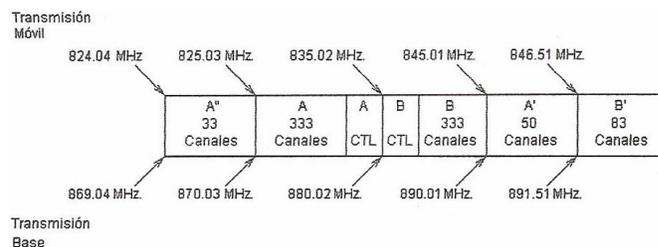
En la actualidad las telecomunicaciones siguen en constante evolución para poder adaptarse a la demanda de sus consumidores.

## 2.2. Primera generación

Se contempló la descentralización de la radio base que en sus inicios se diseñaba de manera que se encontrara en el centro de los usuarios. Se proponía la implementación de varias radios bases que se pudieran distribuir a lo largo de la ciudad, y de esa manera poder mantener una amplia cobertura. De esta manera es que nace el concepto celular el cual tienen un centro de conmutación central y funcionalidades de control.

Los primeros sistemas en alcanzar la comercialización surgieron durante los años 80s que en EE. UU. se conoció como AMPS mientras que en Europa se tenía a NMT-450 y TACS entre otras.

Figura 5. Frecuencias AMPS



Fuente: Repositorio Dspace. *Introducción a la telefonía celular.*

<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/6895/1/ice%20181.pdf>. Consulta: noviembre de 2018.

Las bandas se encontraban separadas por 45 MHz y el espacio entre los canales era de 30 KHz esto para transmisión y recepción.

El sistema era capaz de ofrecer las siguientes características:

- Realización y recepción de llamadas dentro del área de cobertura
- Conmutación de comunicación al cambiar de radio base de un punto a otro dentro del área de cobertura.

Tal y como se mencionó anteriormente estos sistemas presentaban varios inconvenientes los cuales provocaron que no se pudiera desplegar a gran escala.

### **2.3. Segunda generación**

2G como se le conoce, surgió 1990. Esta se caracterizó por ser digital a diferencia de la primera generación. La segunda generación introdujo protocolos de codificación más sofisticados que la primera generación, estos perduran en la actualidad.

Las tecnologías que predominan para la segunda generación son:

- GSM o Sistema Global para Comunicaciones Móviles
- IS-136, TIA/EIA-136 o ANSI-136, la cual está basada en TDMA
- IS-95 la cual está basado en CDMA y PDC

La tabla que se muestra a continuación muestra los sistemas digitales de la segunda generación.

Tabla III. **Sistemas de segunda generación**

	GSM	TIA/EIA-136	IS-95	IS-95
Rango de frecuencia	GSM 900	CELULAR		-
Banda	935-960	869-894		940-956
Subida	890-915	824-849		810-826
Bajada				
Banda	GSM 1800			
Subida	1805-1880			
Bajada	1710-1785			
Banda	GSM 1900	PCS		-
Subida	1930-1990	1930-1990		1429-1453
Bajada	1850-1910	1850-1910		1477-1501
Espacio de Canales en Khz.	200	1250		25
Mínimo número de canales	125	832 20		1600
Usados por canal	8	3	63	3
Acceso técnico múltiple	FDMA/TDMA	FDMA/CDMA		FDMA/TDMA
Modo Duplex	FDD	FDD		FDD
Modulación	GMSK	DQPSK	OQPSK	DQPSK

Fuente: Repositorio Dspace. *Introducción a la telefonía celular.*

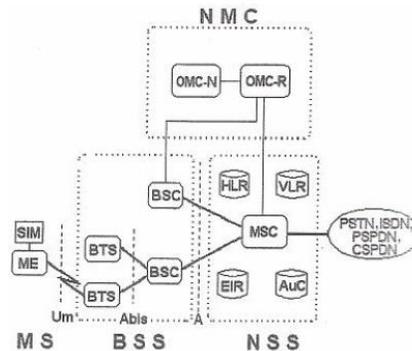
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/6895/1/ice%20181.pdf>. Consulta: noviembre de 2018.

### 2.3.1. GSM

Surge debido a la necesidad de crear un estándar, esta funcionaba en la banda de los 900 MHz en sus inicios, posteriormente cambió a la banda de 1 800 MHz y 1 900 MHz.

GSM brinda una arquitectura con cuatro subsistemas principales, el primero tiene determinado número de unidades funcionales el cual se conecta al otro por medio de subinterfaces principales.

Figura 6. **Arquitectura GSM**



Fuente: Repositorio Dspace. *Introducción a la telefonía celular.*

<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/6895/1/ice%20181.pdf>. Consulta: noviembre de 2018

### 2.3.2. **Generación 2.5G**

Incorpora varias mejoras y capacidades como GPRS, HSCSD, EDGE, IS-136 B, IS95B entre otras, esta tecnología fue más rápida y representaba un bajo costo para una actualización a la tercera generación.

### 2.3.3. **Servicio general de paquetes vía radio (GPRS)**

GPRS ofrece velocidades mayores a 9,6 Kbps, puede utilizar ocho ranuras de tiempo para un único usuario lo cual tiene como resultado un aumento en la velocidad de los datos, está basado en divisiones de frecuencia y TDMA.

#### **2.3.4. Datos conmutados por circuitos de alta velocidad (HSCSD)**

HSCSD es una evolución o mejora de GSM, permite alcanzar velocidades de hasta 57,6 Kbps, esto lo realiza combinando ranuras. Otra de las mejoras que es necesario mencionar es que HSCSD permite transmitir información con un menor nivel de errores, de esta manera se pueden optimizar los bits para transmitir mayor información.

#### **2.3.5. Proporción de datos mejorados para la evolución GSM (EDGE)**

EDGE se puede considerar como una mejora de GPRS, una de sus principales características es que introduce los servicios de tercera generación actúa como un puente entre 2G y 3G. Puede triplicar la velocidad de GPRS, puede manejar una tasa de bits de 8 tiempos por slots llegando así a una velocidad de 473,6 Kbps.

### **2.4. Tercera generación**

3G como se le conoce introduce por primera vez servicio de datos, voz y conexión a internet que en su momento no eran un servicio utilizado en telefonía móvil, esto brindó por primera vez la capacidad de recibir o enviar correos electrónicos, aplicaciones multimedia, descarga de programas entre otros.

La tercera generación utilizaría los estándares IMT-200, UMTS, CMDA2000, 3GPP, WCDMA entre otros.

### **2.4.1. Código de división de múltiple acceso (CDMA)**

CDMA ya se había introducido en la segunda generación, se introduce de manera general en la tercera generación brindando un mejoramiento en capacidad del sistema, seguridad, mejoramiento en el ancho de banda y flexibilidad.

Se puede definir como un sistema de multiplexación que permite lograr un aumento en el ancho de banda para brindar servicios de internet, voz y datos sobre un mismo medio de comunicación.

La utilización de espectro esparcido es la base de CDMA, y utiliza técnica de multiplexación en la que cada canal es encriptado de manera digital, esto brinda de cierta manera un sistema de seguridad en el que solo las dos terminales involucradas se reconocen.

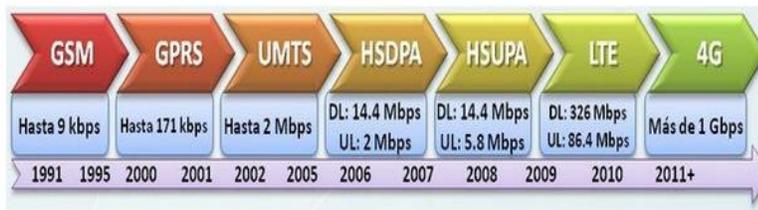
### **2.5. Cuarta generación**

También conocida como LTE por sus siglas en inglés Long Term Evolution está basada completamente en el protocolo IP. La cuarta generación incorpora distintas ventajas y de igual manera distintos dispositivos como Smartphone, modem inalámbrico que a través de un chip móvil pueden lograr la conexión, tablet y diversidad de dispositivos que requieran de acceso a internet por medio de la telefonía móvil. Esta tecnología nace para satisfacer la demanda de servicios multimedia que fueron creciendo de gran manera, la misma demanda un gran ancho de banda, LTE puede alcanzar velocidades mayores a los 300 Mbps.

Es necesario mencionar que LTE no es considerada como la cuarta generación ya que la misma no cumple con los requerimientos definidos por ITU, sin embargo, LTE se acerca de gran manera a la tan deseada cuarta generación.

El concepto de 4G trae velocidades superiores a 1 Gbps, es completamente IP y puede llegar a descargar con un ancho de banda menor.

Figura 7. Evolución de sistemas móviles



Fuente: Xataka. *LTE, el salto del 3G al 4G. O casi.* <https://www.xataka.com/moviles/lte-el-salto-del-3g-al-4g-o-casi>. Consulta: noviembre de 2018.

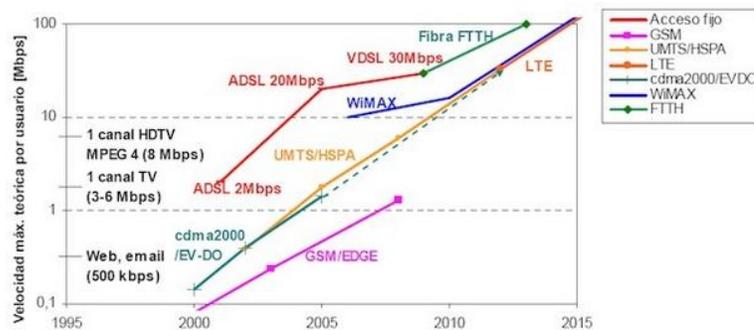
En el año de 2008 ITU establece el nuevo estándar para 4 G en el cual se establece que los canales de radio sean mayores a los 40 MHz y de la misma manera se establece una eficiencia espectral extremadamente alta, esto solo es un ejemplo de los requerimientos del estándar conocido como International Mobile Telecommunications-Advanced o IMT-Advanced.

Dentro de las estrictas recomendaciones de IMT-Advanced también se pueden mencionar dos escenarios, para la primera se contempla a un usuario en un punto definido o con un movimiento bajo al cual se le podrá brindar una capacidad de 1 Gbps, para el otro caso se contempla a un usuario con una

velocidad alta el cual podría viajar en un vehículo, para el mismo se considera una velocidad de 100 Mbps.

En la actualidad estas velocidades no se han logrado alcanzar por diversos factores, uno de ellos es la inversión económica que esto implica. De esta manera es que nace LTE-Advanced, la misma ofrece una alta capacidad alcanzando velocidades de 500 Mbps en carga y 1 Gbps en descarga, para lograr estas velocidades se plantean diversos métodos o técnicas como por ejemplo la implementación de antenas duales, sistemas escalables de ancho de banda de 20 MHz hasta 100 Mhz, antenas MIMO, espectro flexible, frequency división dúplex o FDD, por mencionar algunos.

Figura 8. Velocidad teórica por usuario



Fuente: Xataka. *LTE, el salto del 3G al 4G. O casi.* <https://www.xataka.com/moviles/lte-el-salto-del-3g-al-4g-o-casi>. Consulta: noviembre de 2018.



### **3. DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS DE LA RED**

#### **3.1. OLT**

La OLT (*Optica Line Terminal*), es un dispositivo electrónico activo que se conecta comúnmente en la central de transmisión del operador. Del dispositivo se desprende la red óptica principal la cual sirve como punto de distribución hacia cada uno de los usuarios.

La OLT cumple la función de router hacia cada uno de los usuarios conectados a él, en general este dispositivo tiene la suficiente capacidad para cubrir a cientos de usuarios. Dentro de sus objetivos se encuentra la multiplexación de canales de subida y bajada, controlar la red de distribución, control de la potencia, corrección de errores.

##### **3.1.1. Módulos**

La OLT se subdivide en tres tipos de módulos que se encarga de gestionar determinado tráfico.

- Provider OLT (P-OLT)

Generalmente utiliza una longitud de onda de 1 490 nm y 1 310 nm, su función es recoger la información de datos o voz desde internet o RTB y la transforma en señales multiplexadas a través del protocolo TDM. El tráfico de datos es redireccionado a internet y las tramas de voz hacia la RTB.

Es importante mencionar que P-OLT se encarga de multiplexar el tráfico descendente y ascendente para ello es que utiliza dos longitudes de onda.

- V-OLT Video OLT (V-OLT). Su función consiste en transportar tramas de video o video bajo demanda también conocido como VoD desde la fuente hacia la ONT, generalmente lo realiza en una longitud de onda de 1 550 nm.
- Multiplexer OLT (M-OLT). Consiste en un multiplexor WDM, se encarga de la multiplexación y demultiplexación entre la P-OLT y V-OLT.

Las OLT no transmiten la misma potencia para todos sus abonados, esta posee dimensionadores de distancia que le permite a la OLT variar la potencia en función de la distancia a la que se encuentra el usuario final o abonado.

Figura 9. **OLT Huawei SmartAX EA5800-X7**



Fuente: Huawei. *Dispositivo de agregación inteligente NG-PON SmartAX EA5800.*  
[https://e.huawei.com/es/products/fixed-network/access/olt/ea5800?source=corp\\_com](https://e.huawei.com/es/products/fixed-network/access/olt/ea5800?source=corp_com). Consulta:  
enero de 2019.

Figura 10. **OLT NOKIA 7360 ISAM FX-4**



Fuente: Nokia Optical LAN solution. *Alcatel-NOKIA 7360 ISAM FX-4, FX-8 and FX-16.*  
<https://www.1com.net/category/nokia-7360-isam-fx/>. Consulta: enero de 2019.

Figura 11. **OLT ZTE ZXA10 C320**



Fuente: GPON Solutions. *ZTE ZXA10 C320 GPON OLT Specification.*  
<http://gponsolution.com/zte-zxa10-c320-gpon-olt-specification.html>. Consulta: enero de 2019.

### 3.2. ONT y MDU

La ONT (Optical Network Terminal), es el elemento terminal y complementario de la OLT, el mismo se encarga de la recepción de y transmisión en el punto final o abonado.

Según la función de la ONT se tiene dos clases:

- H-ONT: Se utiliza para servicios FTTH, se instalan en el abonado o cliente para servicio.
- B-ONT: Se utiliza para servicios FTTB más robusta que la H-ONT, se utiliza en soluciones más complejas donde se necesitan varios usuarios conectados a él.

La trama utilizada por la ONT se divide en tres campos:

- Cabecera, contiene información sobre la sincronización de la trama.
- CRC, permite conocer si la información enviada ha llegado correctamente y si n errores a su destino.
- Carga útil o Payload, corresponde a los datos enviados.

Al finalizar el filtrado la ONT debe diferenciar la señal de video V-OLT y las tramad de voz y datos P-OLT.

El módulo electroóptico en la ONT consta de dos 2 fotodiodos, uno de ellos es un Analogic Photo-diode o APD y el otro un Digital Photo-diodeo DPD, estos se dividen en dos filtros que son:

- Filtro Óptico Analógico (OAF), la señal de video a 1550 nm se demultiplexa en longitud de onda con este filtro.
- Filtro Digital Óptico (ODF), la señal de voz y datos a 1490 nm se demultiplexa en longitud de onda con este filtro.

Para evitar la colisión entre tramas la ONT utiliza multiplexación por división de tiempo o TDM.

Figura 12. **ONT ZTE ZXA10 F601**



Fuente: ZTE. *ONT ZTE ZXA10 F601*.

[http://www.zte.com.cn/en/products/access/xpon/201301/t20130131\\_385569.html](http://www.zte.com.cn/en/products/access/xpon/201301/t20130131_385569.html). Consulta:  
enero de 2019.



Figura 15. **MDU DASAN V1916GR**



Fuente: DASAN. *V1916GR/V1908RT GPON Triple Play Service MDU*.  
<https://www.multicominc.com/wp-content/uploads/V1908RT.pdf>. Consulta: enero de 2019.

### **3.3. Red de acceso**

La red de acceso está compuesta por los elementos que componen desde la central hacia la última milla o abonados de la red. En las telecomunicaciones la red de acceso está compuesta desde la radio base hacia la central telefónica.

La red de acceso se puede dividir en 2 redes las cuales son:

- Acceso Alámbrico
- Acceso Inalámbrico

#### **3.3.1. Acceso alámbrico**

La red por acceso alámbrico o por cables físicos se compone comúnmente de 4 tipos de conexión:

- Par de cobre: el más común de las redes de telecomunicación se utiliza comúnmente en servicios de telefónicos, es capaz de transportar voz, videos y datos. Se ve limitada por su ancho de banda.
- Cable coaxial: utilizado en instalaciones de TV por cable, es capaz de transportar datos, voz y acceso a internet, a los servicios se brindan específicamente a los hogares particulares y se le conoce como triple play.
- Fibra óptica: el medio de transporte más robusto, capaz de transportar a grandes velocidades.
- Redes híbridas: combinación entre coaxial y fibra óptica conocida como HFC.

### **3.3.2. Acceso inalámbrico**

Redes que utilizan las señales electromagnéticas a través del espacio o medio libre. Dentro de estas redes se conocen comúnmente el WIFI y la telefonía celular.

La red celular es una de las más grandes, están conformadas por radio bases las cuales se encarga de la transmisión y recepción de los diferentes teléfonos celulares.

### **3.4. Radio bases**

La radio bases o estación base (RBS por sus siglas en inglés) siempre se encuentran en conexión con la MTSO (Mobile Telephone Switching Office), o MSC (Mobile Switching Central), por medio de enlaces punto a punto. La radio base es el punto de accesos a una red de comunicaciones.

Las estaciones base dispone de equipos de transmisión y recepción que se encuentran en la banda de frecuencia de 850/900/1 800/1 900 Mhz en GSM y 1 900/2 100 Mhz en UMTS.

Está constituida por antenas que reciben y transiten la señal de radio desde y hacia los dispositivos móviles.

Puede ser omnidireccional porque da servicio a lo largo de 360 grados y las sectoriales son más utilizadas para zonas urbanas y montañosas.

Figura 16. **Antena omnidireccional 4G de 6dBi 700-2170MHz**



Fuente: Comba. *Antena omnidireccional 4G de 6dBi 700-2170MHz*. <https://www.comba-telecom.com>. Consulta: enero de 2019.

Figura 17. **Antena sectorial 2CPX208R-V3**



Fuente: COMMSCOPE. *Antena sectorial 2CPX208R-V3*. <https://www.commscope.com>.

Consulta: enero de 2019.

La RBS dispone de algún medio de transmisión vía radio o cable, esto para efectúa el enlace con la central de conmutación de telefonía móvil, a su vez dirige la llamada hacia el teléfono destino ya sea fijo o móvil. Dispone también de un banco de baterías capaces de asegurar el funcionamiento ininterrumpido del servicio.

La RBS está compuesta de los siguientes elementos:

- Antena: pueden ser varias dependiendo del diseño de RF, son las encargadas de la recepción y emisión de las señales de radio.
- Remote Radio Unit (RRU): es el dispositivo electrónico de radio frecuencia que se conecta directamente a la antena, está diseñado para ser de intemperie.

- Base Band Unit (BBU): dispositivo electrónico interno, es el punto central de la radio base a él se conectarán las diferentes RRUs. Cabe mencionar que el protocolo utilizado entre la BBU y la RRU es CPRI.
- Gabinete: encargado de alojar a los diferentes componentes electrónicos, generalmente se encuentra con un sistema de refrigeración el cual mantiene la electrónica a una temperatura estable, de igual manera se puede encontrar dentro de ella, las baterías que sirven de respaldo en caso de alguna falla eléctrica.
- Elementos pasivos: se refiere a los distintos componentes pasivos que sirven para las conexiones de la radio base, y se pueden mencionar los cables de UTP, jumpers, patch cord de fibra óptica, herrajes, entre otros.

#### Tipos de RBS:

- Torres: diseñadas para brindar mayor cobertura, las estructuras son torres que pueden llegar a medir varios metros de altura, generalmente se pueden encontrar torres de 30 m, 40 m, 70 m y 100 m, la altura dependerá de las necesidades y del diseño de RF.
- Micro celdas: diseñadas para brindar menor cobertura, en general se utilizan para tener varias dentro de un área determinada, las mismas son más compactas y de fácil instalación. No requiere de grandes estructuras pudiendo ser instaladas dentro de un área urbana, postes de energía eléctrica, alumbrado público y las distintas estructuras dentro de una zona urbana son una opción para su instalación.



## **4. DISEÑO DE RED GPON PARA SERVICIOS MÓVILES**

### **4.1. Diseño para planta externa**

Para comenzar el diseño de la red se tomarán las siguientes consideraciones:

- Se consideran 6 celdas, no se tomará en cuenta el diseño de RF, el diseño está enfocado a planta externa y transmisión.
- Por cada celda se considera una ONT o MDU.
- Se contempla una OLT.
- Las FO utilizadas serán de 8 hilos y 12 hilos.
- Se utilizarán splitter de capa 1 y 2.

#### **4.1.1. Diseño de planta externa**

Para el diseño se considera la instalación más adecuada según la topología del municipio de Patzún, para los cálculos se considera la quinta ventana, y la recomendación ITU-T G.984.2 Amendment1.

Para la atenuación de cada dispositivo pasivo se considera la siguiente tabla:

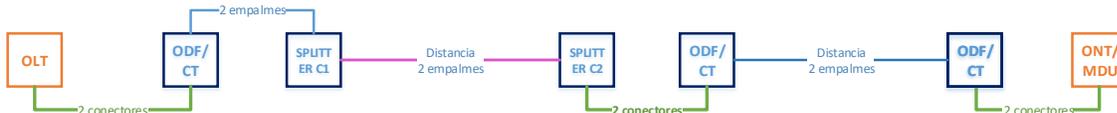
Tabla IV. **Consideraciones para PLEX**

Datos	
Splitter 1:2	-3,1dB
Splitter 1:4	-6,02dB
Atenuación fibra/km	-0,30 dB/km
Atenuación empalme	-0,05dB
Empalmes por celda	6
Atenuación conectores	-0,6dB
Conectores	6

Fuente: elaboración propia.

Para la misma se consideró el siguiente escenario de PLEX:

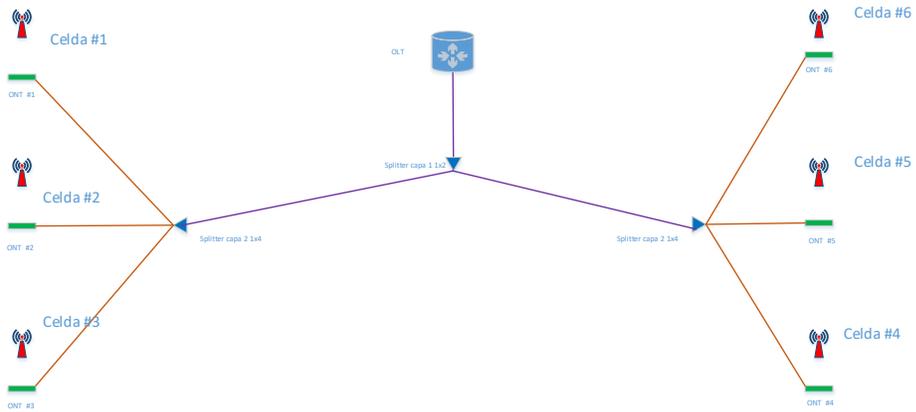
Figura 18. **Diagrama de conexión**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2016.

Se muestra a continuación el diseño esquemático de PLEX:

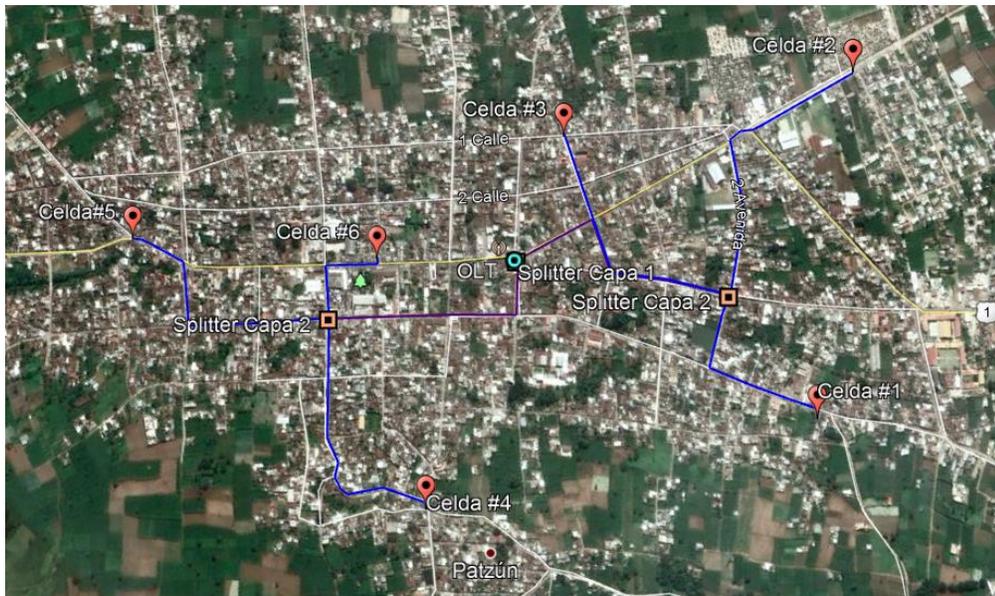
Figura 19. **Diseño general**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2016.

De la misma manera se muestra el diseño en Google Earth

Figura 20. **Diseño General PLEX realizado en Google Earth**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth 2016.

Simbología utilizada:

Tabla V. **Simbología**

FO 8 Hilos	
FO 12 Hilos	
Slitter Capa 1	
Slitter Capa 2	
Celda	

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2. **Cálculos para PLEX**

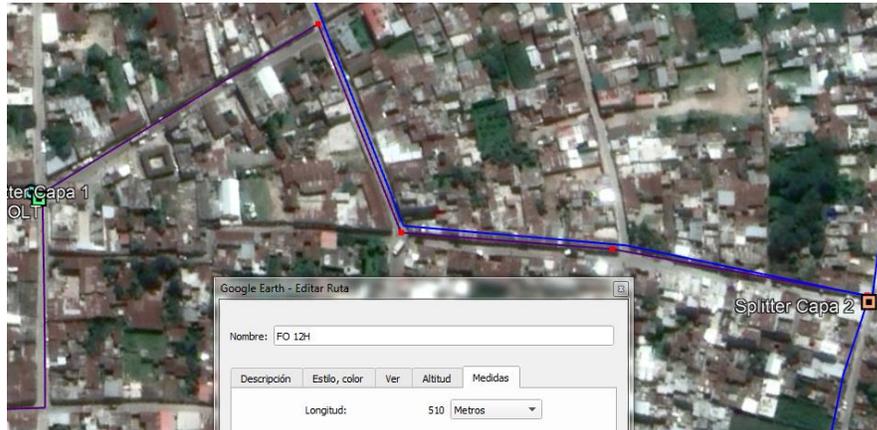
Para comenzar los cálculos de las distancias máximas y los niveles de atenuación de cada uno de los nodos, se tomarán las ecuaciones del capítulo 1.

$$\begin{aligned} \text{Atenuación Total} = & (\text{Atenuación Slitter 1} + \text{Atenuación Slitter 2} + \dots + \text{Slitter N}) \\ & + ([\text{Atenuación Fibra/km}] * [\text{Distancia}]) + (\text{Atenuación empalme} * \text{N empalmes}) + \\ & (\text{Atenuación conectores} * \text{N conectores}) \end{aligned}$$

- Celda número 1

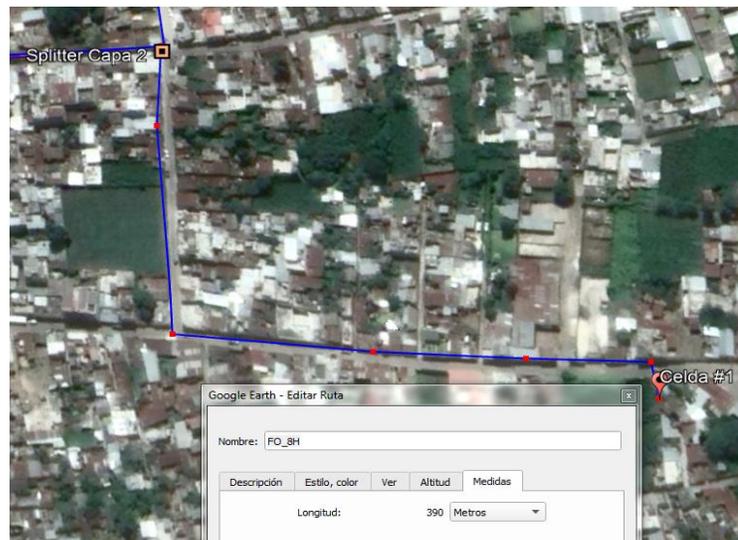
La distancia para las celdas 1, 2 y 3 será de 510 m más la distancia hacia el punto correspondiente, en este caso para la celda uno será de 390 m.

Figura 21. **Distancia principal realizado en Google Earth**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth 2016.

Figura 22. **Celda 1 realizad en Google Earth**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth 2016.

La distancia total será de 900 m, para la celda 1.

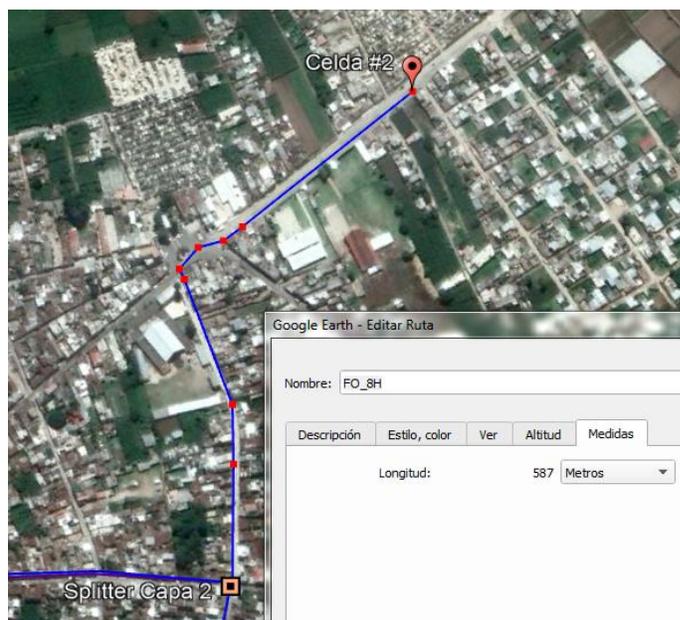
$$\text{Atenuación total} = -3,1 \text{ dB} - 6,02 \text{ dB} + (-0,3 \text{ dB/km} \cdot 0,9 \text{ km}) + (-0,05 \text{ dB} \cdot 6) + (-0,6 \text{ dB} \cdot 6)$$

$$\text{Atenuación total} = -13,29 \text{ dB}$$

- Celda número 2

La distancia de la celda 2 corresponde a 587 m, en total 1 097 m.

Figura 23. **Celda 2 realizado en Google Earth**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth 2016.

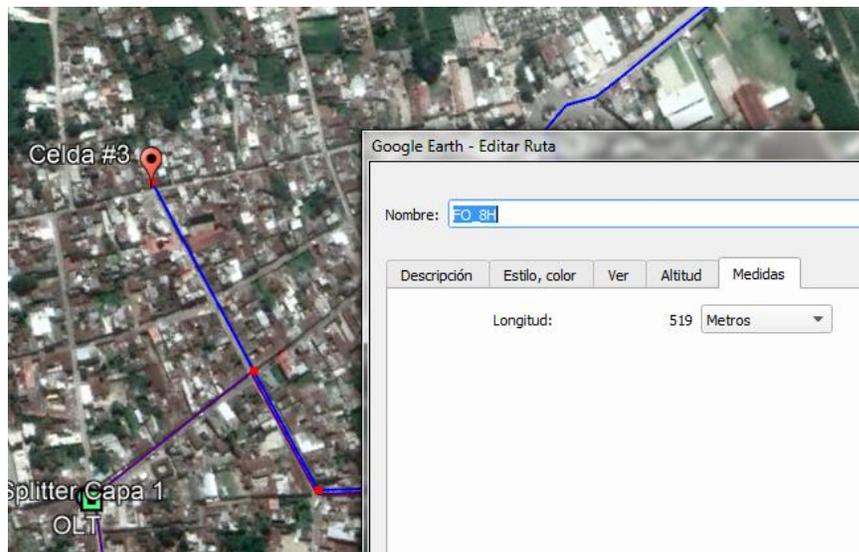
$$\text{Atenuación Total} = -3,1 \text{ dB} - 6,02 \text{ dB} + (-0,3 \text{ dB/km} \cdot 1 \text{ 097 km}) + (-0,05 \text{ dB} \cdot 6) + (-0,6 \text{ dB} \cdot 6)$$

Atenuación Total = -13,35 dB

- Celda número 3

La distancia de la celda 3 corresponde a 519 m, en total 1 029 m.

Figura 24. **Celda 3 realizad en Google Earth**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth 2016.

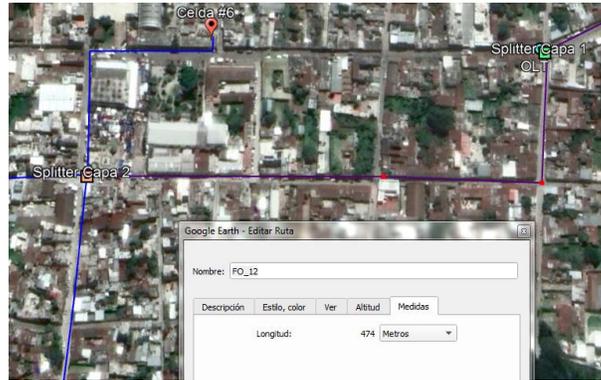
Atenuación total = -3,1 dB -6,02 dB + (-0,3 dB/km\*1 029 km) + (-0,05 dB\*6) +  
(-0,6 dB\*6)

Atenuación total = -13,33 dB

- Celda número 4

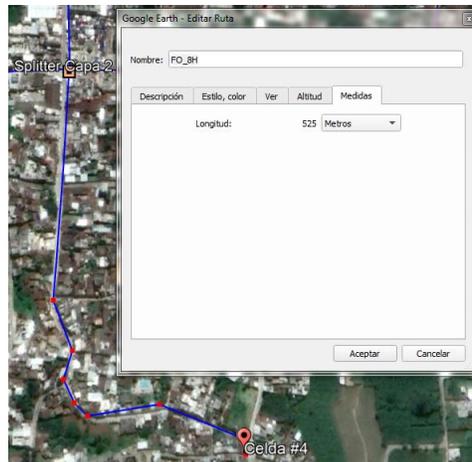
La distancia para las celdas 4, 5 y 6 será de 474 m más la distancia hacia el punto correspondiente, en este caso para la celda cuatro será de 525 m.

Figura 25. **Distancia principal realizada en Google Earth**



Fuente: elaboración propia, empleando, empleando Google Earth 2016.

Figura 26. **Celda 4 realizada en Google Earth**



Fuente: elaboración propia, empleando, empleando Google Earth 2016.

La distancia total será de 999 m, para la celda 4.

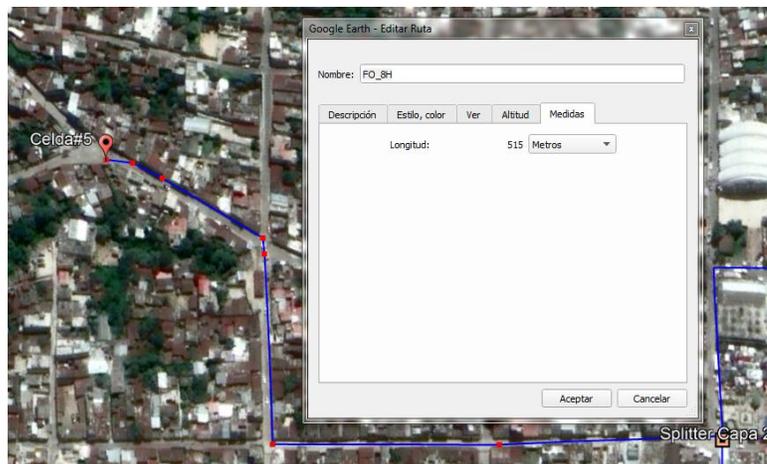
$$\text{Atenuación total} = -3,1 \text{ dB} - 6,02 \text{ dB} + (-0,3 \text{ dB/km} \cdot 0,999 \text{ km}) + (-0,05 \text{ dB} \cdot 6) + (-0,6 \text{ dB} \cdot 6)$$

Atenuación total = -13,32 dB

- Celda número 5

La distancia de la celda 5 corresponde a 515 m, en total 989 m.

Figura 27. **Celda 5 realizad en Google Earth**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth 2016.

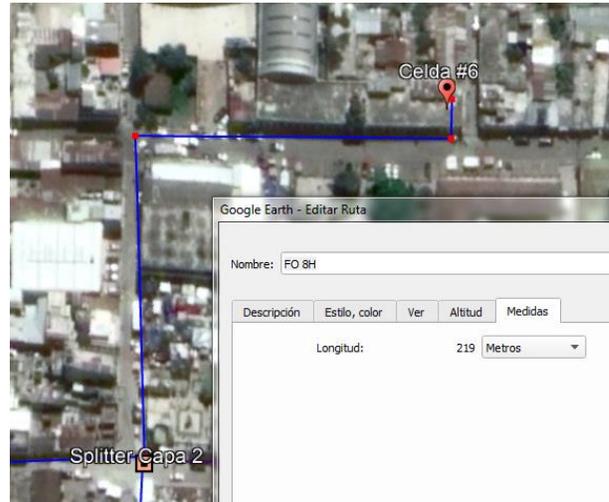
Atenuación total = -3,1 dB - 6,02 dB + (-0,3 dB/km\*0,989 km) + (-0,05 dB\*6) + (-0,6 dB\*6)

Atenuación total = -13,32dB

- Celda número 6

La distancia de la celda 6 corresponde a 219 m, en total 693 m.

Figura 28. **Celda 6 realizad en Google Earth**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth.

$$\begin{aligned} \text{Atenuación total} &= -3,1 \text{ dB} - 6,02 \text{ dB} + (-0,3 \text{ dB/km} \cdot 0,693 \text{ km}) + (-0,05 \text{ dB} \cdot 6) + \\ &\quad (-0,6 \text{ dB} \cdot 6) \\ \text{Atenuación total} &= -13,23 \text{ dB} \end{aligned}$$

Tabla VI. **Resumen de cálculos PLEX**

CELDA	ATENUACIÓN
1	-13,29 dB
2	-13,35 dB
3	-13,33 dB
4	-13,32 dB
5	-13,32 dB
6	-13,23 dB

Fuente: elaboración propia.

## **4.2. Diseño lógico**

Para comenzar el diseño de la red se tomarán las siguientes consideraciones:

- Para el diseño se considera OLT y MDU Huawei
- Por cada celda se considera una ONT o MDU
- Se contempla una OLT

### **4.2.1. Configuraciones en OLT**

El DBA o Dynamic Bandwidth Allocation (Asignación dinámica de Ancho de banda), es uno de los parámetros que sirve para las distribuciones de los anchos de banda que proporciona la OLT, con este parámetro se puede definir qué, ancho de banda se le brinda a cada servicio.

En el diseño se van a contemplar 6 celdas a las cuales se les proporcionará 194 MBs dado que la interfaz GPON corresponde a 1,25 Gbs en *up* y 2,5 en *down*.

Se van a distribuir los anchos de banda de cada celda y asignar un DBA a cada servicio móvil.

Cabe mencionar que se pueden asignar anchos de banda dependiendo de las necesidades de tener 3 servicios en cada celda como por ejemplo 2G, 3G y 4G, se asignarían en proporción un ancho de banda a cada servicio, dependiendo del requerimiento se podría utilizar otro puerto PON y ampliar la capacidad.

Para dar un ejemplo, si se tienen los 3 servicios antes mencionados se podrían considerar los siguientes anchos de banda:

Tabla VII. **Ejemplo de distribución de capacidades**

TECNOLOGÍA	MIN (Mbs)	MAX (Mbs)
2G	2	4
3G	10	40
4G	100	200
Total	112	244

Fuente: elaboración propia.

Como se podrán dar cuenta el máximo a consumir por cada celda correspondería a 244 Mbs, esto muestra que por cada puerto GPON tendrían 5 celdas.

Como se mencionó, la distribución del ancho de banda dependerá de las necesidades que se tengan.

En este caso se van a considerar los siguientes anchos de banda para las 6 celda, quedando de la siguiente manera:

Tabla VIII. **Distribución de capacidades**

TECNOLOGÍA	MIN (Mbs)	MAX (Mbs)
2G	2	4
3G	10	40
4G	100	150
Total	112	194

$$\text{Celdas } \frac{1\ 250\ \text{Mbs}}{194\ \text{Mbs}} = 6,443299$$

Fuente: elaboración propia.

La configuración el equipo es muy simple y maneja la siguiente sintaxis:

- OLT(config)# dba-asrMinimo.maxMaximo

Esto podrá variar según el quipo donde se está configurando.

Quedará de la siguiente manera:

Tabla IX. **Configuración de DBA**

Servicio	Configuración
2G	dba-asr2.max4mbsps
3G	dba-asr10.max40mbsps
4G	dba-asr100.max150mbsps

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.2. Traffic Profile

El Traffic Profile es un parámetro que se debe configurar para los servicios que se entregan directamente en el puerto PON, mientras que el DBA se configure a nivel global en la OLT, el Traffic Profile funciona a nivel local en el puerto PON, es decir que va del puerto PON hacia el abonado o cliente.

El Traffic Profile, en este caso maneja los mismos parámetros que el DBA es decir un mínimo y un máximo, para este caso en específico se configuran los mismos parámetros para cada servicio quedando de la siguiente manera:

Sintaxis:

- OLT(config)# tfc-asrMinimo.maxMáximombps

Quedará de la siguiente manera:

Tabla X. Configuración de Traffic Profile

SERVICIO	CONFIGURACIÓN
2G	tfc-asr2.max4mbps
3G	tfc-asr10.max40mbps
4G	tfc-asr100.max150mbps

Fuente: elaboración propia.

Tal y como se puede observar los servicios son simétricos, sin embargo, los mismos podrían variar según sea la necesidad o requerimiento del o los servicios.

### 4.2.3. Line Profile

De manera general el LINE PROFILE contiene los parámetros de TCON y GEM que sirven para establecer el tráfico de subida, definir el encapsulado de los servicios y la asignación de los time slots a cada servicio que se entregará, como recuerdan GPON maneja el encapsulado GEM, y está basado en TDMA por lo cual es necesario que se relacione cada periodo de 125  $\mu$ s a cada GEM para poder realizar el encapsulado correspondiente.

El LINE PROFILE se define en la OLT con un ID y un NOMBRE, dentro de perfil se definirán los servicios móviles que se necesitan.

La sintaxis es la siguiente:

- OLT(config)# Ont-lineprofile gpon profile-id NUMERO DE ID profile name NOMBRE DEL PERFIL.

Quedará de la siguiente manera:

Tabla XI. Configuración de Line Profile

SERVICIO	CONFIGURACIÓN
MOVIL	ont-lineprofile gpon profile-id 1 profile name "MOVIL"

Fuente: elaboración propia.

#### 4.2.4. VLAN

Las VLANs que se asignarán, se numeran de la 1 a la 36, las mismas se eligieron para tener un orden dentro de la red, se recomienda llevar un orden en la asignación de VLANs, esto podrá ayudar en caso de Troble Shuting.

Se asignarán VLANs a cada celda y por cada servicio quedando de la siguiente manera:

Tabla XII. **Asignación de VLANs**

VLANs				
CELDA	GESTION	2G	3G	4G
1	1	11	21	31
2	2	12	22	32
3	3	13	23	33
4	4	14	24	34
5	5	15	25	35
6	6	16	26	36

Fuente: elaboración propia.

La sintaxis es la siguiente:

- OLT(config)# vlan X Smart
- OLT(config)# port vlan X (frame/slot) (uplink port)

Quedará de la siguiente manera:

Tabla XIII. **Configuración de VLANs**

CELDA	GESTION	2G	3G	4G
1	vlan 1 Smart	vlan 11 Smart	vlan 21 Smart	vlan 31 Smart
	port vlan 1 0/1 0	port vlan 11 0/1 0	port vlan 21 0/1 0	port vlan 31 0/1 0
2	vlan 2 Smart	vlan 12 Smart	vlan 22 Smart	vlan 32 Smart
	port vlan 2 0/1 0	port vlan 12 0/1 0	port vlan 22 0/1 0	port vlan 32 0/1 0
3	vlan 3 Smart	vlan 13 Smart	vlan 23 Smart	vlan 33 Smart
	port vlan 3 0/1 0	port vlan 13 0/1 0	port vlan 23 0/1 0	port vlan 33 0/1 0
4	vlan 4 Smart	vlan 14 Smart	vlan 24 Smart	vlan 34 Smart
	port vlan 4 0/1 0	port vlan 14 0/1 0	port vlan 24 0/1 0	port vlan 34 0/1 0
5	vlan 5 Smart	vlan 15 Smart	vlan 25 Smart	vlan 35 Smart
	port vlan 5 0/1 0	port vlan 15 0/1 0	port vlan 25 0/1 0	port vlan 35 0/1 0
6	vlan 6 Smart	vlan 16 Smart	vlan 26 Smart	vlan 36 Smart
	port vlan 6 0/1 0	port vlan 16 0/1 0	port vlan 26 0/1 0	port vlan 36 0/1 0

Fuente: elaboración propia.

El puerto al que se hace mención en la configuración corresponde al puerto PON, el mismo puede variar según disponibilidad del equipo y del diseño.

#### 4.2.5. T-CONT

El T-CONT o contenedor de tráfico se utiliza para la gestión de la asignación del ancho de banda de subida, esto específicamente en el puerto PON, su principal objetivo es la mejor de la utilización del ancho de banda.

T-CONT maneja un QoS por cada ancho de banda, el mismo puede tener una numeración de 1 a 5 (dependiendo del proveedor), siendo de la siguiente manera:

Tabla XIV. **Clases de T-CONT**

ANCHO DE BANDA	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4	TIPO 5
FIJO	X				X
SEGURO		X	X		
NO SEGURO			X		X
MEJOR ESFUERZO				X	X
MÁXIMO			X	X	X

Fuente: elaboración propia.

Para el diseño se contemplan 4 tipos y se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla XV. **Asignación de T-CONT**

Servicios	T-CONT
4G	1
3G	2
2G	3
GESTION	4

Fuente: elaboración propia.

Uno de los más importantes es la gestión, se deja el T-CONT 4 ya que para casos de Trouble Shuting tener en gestión el equipo será de vital importancia.

Los demás servicios móviles podrán variar según el diseño y los requerimientos solicitados.

La sintaxis es la siguiente:

- OLT(config)# tcont 1 dba-profile-id dba-profile-id

Quedará de la siguiente manera:

Tabla XVI. **Configuraci3n de T-CONT**

SERVICIO	CONFIGURACI3N
4G	tcont 1 dba-profile-id 1
3G	tcont 2 dba-profile-id 2
2G	tcont 3 dba-profile-id 3
GESTION	tcont 4 dba-profile-id 4

Fuente: elaboraci3n propia.

#### 4.2.6. GEM

Como se mencion3 con anterioridad GPON maneja el encapsulado GEM (GPON Encapsulation Method), para la configuraci3n es necesario se asigne cada T-CONT a cada GEM luego relacionar los GEM al GEM MAPPING para realizar la asignaci3n del servicio.

La sintaxis es la siguiente:

- OLT(config)# gem add 1 eth tcont 1

Es necesario mencionar que el servicio será Ethernet y se manejar  VLANs para los mismos.

Quedará de la siguiente manera:

Tabla XVII. **Configuración de GEM-T-CONT**

Servicio	Configuración
4G	gem add 1 eth tcont 1
3G	gem add 2 eth tcont 2
2G	gem add 3 eth tcont 3
GESTION	gem add 4 eth tcont 4

Fuente: elaboración propia.

Para GEM MAPPING

La sintaxis es la siguiente:

- OLT(config)# gem mapping X X vlan VLAN DE SERVICIO

Quedará de la siguiente manera:

Tabla XVIII. **Asignación de GEM MAPPING**

SERVICIO	CONFIGURACIÓN
4G	gem mapping 1 1 vlan 4G
3G	gem mapping 2 2 vlan 3G
2G	gem mapping 3 3 vlan 2G
GESTION	gem mapping 4 4 vlan GESTION

Fuente: elaboración propia.

Para cada uno de los servicios quedara de la siguiente manera:

Tabla XIX. **Configuración de GEM MAPPING**

CELDA	GESTION	2G	3G	4G
1	gem mapping 4 4 vlan 1	gem mapping 2 2 vlan 11	gem mapping 3 3 vlan 21	gem mapping 4 4 vlan 31
2	gem mapping 4 4 vlan 2	gem mapping 2 2 vlan 12	gem mapping 3 3 vlan 22	gem mapping 4 4 vlan 32
3	gem mapping 4 4 vlan 3	gem mapping 2 2 vlan 13	gem mapping 3 3 vlan 23	gem mapping 4 4 vlan 33
4	gem mapping 4 4 vlan 4	gem mapping 2 2 vlan 14	gem mapping 3 3 vlan 24	gem mapping 4 4 vlan 34
5	gem mapping 4 4 vlan 5	gem mapping 2 2 vlan 15	gem mapping 3 3 vlan 25	gem mapping 4 4 vlan 35
6	gem mapping 4 4 vlan 6	gem mapping 2 2 vlan 16	gem mapping 3 3 vlan 26	gem mapping 4 4 vlan 36

Fuente: elaboración propia.

### 4.3. Configuración en MDU

Los parámetros que se configuran en la MDU son los mismos que en la OLT.

En muchos equipos y dependiendo del proveedor la configuración de la OLT puede ser extraída a la MDU y de esta manera evitar la configuración de los diferentes parámetros nuevamente. El equipo actual utiliza OMCI (Management and Control Interface) para que la OLT pueda gestionar y poder establecer el tráfico hacia la MDU.

Dentro de los parámetros a configurar en la MDU se van a tomar los siguientes:

- Line Profile
- Traffic Profile
- VLAN
- Service Port

### 4.3.1. Line profile

La sintaxis es la siguiente:

- MDU(config)# ont-lineprofile gpon profile-id NUMERO DE ID *profile name*  
NOMBRE DEL PERFIL.

Quedará de la siguiente manera:

Tabla XX. Configuración de Line Profile MDU

SERVICIO	CONFIGURACIÓN
MOVIL	ont-lineprofile gpon profile-id 1 profile name "MOVIL"

Fuente: elaboración propia.

Al cargar la configuración del perfil la MDU descargara todo lo correspondiente a los parámetros de GEM.

El procedimiento será el mismo para todas las MDUs.

### 4.3.2. Traffic Profile

Para el caso del TRAFIC PROFILE se asocian los parámetros ya establecidos en la OLT, se procede a llamarlos en cada una de las MDUs, se crea el TRAFIC TABLE para cada servicio y se establece su ancho de banda mínimo y máximo.

La sintaxis es la siguiente:

- MDU(config)#traffic table ip index <número de índice> name “nombre de trafico profile” cir <ancho de banda menor> pir <ancho de banda menor> priority 0 priority local-setting.

Quedará de la siguiente manera:

Tabla XXI. **Configuración de Traffic Profile MDU**

SERVICIO	CONFIGURACIÓN
2G	traffic table ip index 1 name "tfc-asr2.max4mbps" cir 2 pir 4 priority 0 priority local-setting
3G	traffic table ip index 2 name "tfc-asr10.max40mbps" cir 10 pir 40 priority 0 priority local-setting
4G	traffic table ip index 3 name "tfc-asr100.max150mbps" cir 100 pir 150 priority 0 priority local-setting

Fuente: elaboración propia.

La configuración será la misma en las 6 MDUs.

### 4.3.3. VLAN

Para la creación de las VLANs se utilizará el puerto 0 para cada una.

La sintaxis es la siguiente:

- MDU(config)# vlan X Smart
- MDU(config)# port vlan X (frame/slot) (uplink port)

Quedará de la siguiente manera:

Tabla XXII. **Configuración de VLAN MDU**

CELDA	GESTION	2G	3G	4G
1	vlan 1 Smart	vlan 11 Smart	vlan 21 Smart	vlan 31 Smart
	port vlan 1 0/0 0	port vlan 11 0/0 0	port vlan 21 0/0 0	port vlan 31 0/0 0
2	vlan 2 Smart	vlan 12 Smart	vlan 22 Smart	vlan 32 Smart
	port vlan 2 0/0 0	port vlan 12 0/0 0	port vlan 22 0/0 0	port vlan 32 0/0 0
3	vlan 3 Smart	vlan 13 Smart	vlan 23 Smart	vlan 33 Smart
	port vlan 3 0/0 0	port vlan 13 0/0 0	port vlan 23 0/0 0	port vlan 33 0/0 0
4	vlan 4 Smart	vlan 14 Smart	vlan 24 Smart	vlan 34 Smart
	port vlan 4 0/0 0	port vlan 14 0/0 0	port vlan 24 0/0 0	port vlan 34 0/0 0
5	vlan 5 Smart	vlan 15 Smart	vlan 25 Smart	vlan 35 Smart
	port vlan 5 0/0 0	port vlan 15 0/0 0	port vlan 25 0/0 0	port vlan 35 0/0 0
6	vlan 6 Smart	vlan 16 Smart	vlan 26 Smart	vlan 36 Smart
	port vlan 6 0/0 0	port vlan 16 0/0 0	port vlan 26 0/0 0	port vlan 36 0/0 0

Fuente: elaboración propia.

#### 4.3.4. Service Port

Este parámetro servirá para establecer el puerto de servicio en una MDU y configurar una VLAN ascendente para los flujos de servicio de la misma, es necesario para establecer el flujo ascendente de la MDU a la OLT.

La sintaxis es la siguiente:

- MDU(config)# service-port <numero de servicio> vlan <VLAN Servicio>  
eth <Puerto> multi-service user-vlan <VLAN Servicio> tag-transform  
translate inbound traffic-table index <INDICE> outbound traffic-table  
index <INDICE>

Quedará de la siguiente manera:

Tabla XXIII. **Configuraci3n de Service Port**

SERVICIO	CONFIGURACI3N
2G	service-port 0 vlan 11 eth0/1/0 multi-service user-vlan 11 tag-transform translate inbound traffic-table index 1 outbound traffic-table index 1
3G	service-port 1 vlan 21 eth0/1/0 multi-service user-vlan 21 tag-transform translate inbound traffic-table index 2 outbound traffic-table index 2
4G	service-port 2 vlan 31 eth0/1/0 multi-service user-vlan 31 tag-transform translate inbound traffic-table index 3 outbound traffic-table index 3

Fuente: elaboraci3n propia.

La configuraci3n se deberá de realizar con la Vlan correspondiente en cada MDU.

Con esta configuraci3n ya se tendrá listo los servicios de la celda hacia la central correspondiente.

#### **4.4. Presupuesto**

El presupuesto que se presenta a continuaci3n se divide en 2 partes, la primera corresponde a planta externa y la segunda a los equipos que se utilizaran.

#### 4.4.1. Planta externa

Para los costos de planta externa se consideran los precios mercado del año 2019, de la misma manera no se considera una marca en específico ya que la mayoría de los proveedores maneja en general los mismos costos.

Tabla XXIV. Costo de fibra óptica

MATERIAL	COSTO POR METRO	CANTIDAD DE FIBRA A UTILIZAR (M)	SUBTOTAL
Fibra óptica de 8 hilos	\$ 0,35	2 755	\$ 964,25
Fibra óptica de 12 hilos	\$ 0,78	984	\$ 767,52
Total			\$ 1 731,77

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Costo de materiales pasivos

MATERIAL	COSTO UNITARIO	CANTIDAD A UTILIZAR	SUBTOTAL
Splitter Capa 1	\$ 26,00	1	\$ 26,00
Splitter Capa 2	\$ 32,00	2	\$ 64,00
Patch Cord	\$ 5,00	14	\$ 70,00
Total			\$ 160,00

Fuente: elaboración propia.

#### 4.4.2. Equipos

Los equipos que se plantean para este diseño corresponden a Huawei, se deja a discreción la utilización de otro tipo de equipo para el diseño. Los costos

de los equipos pueden variar según sea la versión, licencias o algún extra del equipo. Para este caso se considera una OLT de gama media.

De la misma manera que la fibra óptica se verifican los precios mercado correspondiente al año 2019.

Tabla XXVI. **Costo de equipo**

MATERIAL	COSTO UNITARIO	CANTIDAD A UTILIZAR	SUBTOTAL
HUAWEI OLT MA5608T GPON	\$10 000,00	1	\$ 10 000,00
MDU	\$ 200,00	6	\$ 200,00
SFP PON	\$ 20,00	7	\$ 140,00
Total			\$ 11 340,00

Fuente: elaboración propia.

Para los costos del proyecto se tendrá un aproximado de \$ 13 231,77 estos corresponden a planta externa y los equipos a utilizar.

Tabla XXVII. **Costo total**

TOTAL PLANTA EXTERNA	\$ 1 891,77
TOTAL HARDWARE	\$ 11 340,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 13 231,77</b>

Fuente: elaboración propia.

No se considera el costo de la mano de obra ya que la misma dependerá de cada empresa.



## CONCLUSIONES

1. Las telecomunicaciones siguen en constante evolución, la demanda de velocidad y ancho de banda para cada usuario cada vez es mayor, uno de los métodos más efectivos para satisfacer esta demanda son las redes basadas en fibra óptica.
2. GPON es una de las tecnologías de acceso más rentable en la actualidad, la red de planta externa es completamente pasiva la cual la hace muy rentable solo utiliza 2 dispositivos activos.
3. La OLT es el dispositivo activo central de la red, en él se concentran todos los servicios que manejan las ONTs o MDUs. La OLT suele ser modular por lo cual tiene la versatilidad de acoplar varios puertos PON para cubrir una mayor cantidad de abonados o usuarios.
4. La ONT o MDU son los dispositivos finales de la red, se encuentra en el abonado o usuario, se encargan de enviar y recibir toda la información en conjunto con la OLT.
5. La red de telefonía móvil es de vital importancia para la vida cotidiana, permite estar comunicados desde cualquier punto en el que la persona se encuentre, la misma se ha vuelto indispensable para el ser humano, por lo cual mantener la cobertura y capacidad en los diferentes operadores se ha vuelto un reto cambiante día a día.



## RECOMENDACIONES

1. La red de planta externa dependerá de la topografía del lugar en cuestión es indispensable verificar el área antes de comenzar el diseño.
2. Para el diseño de la red se basa en la cantidad de usuarios potenciales del área, la misma implica desplegar en menor o mayor cantidad el número de celdas.
3. Los dispositivos activos de la red en este caso OLT y MDU deberán de contar con los estándares de energía e infraestructura, esto para asegurar su debido funcionamiento.
4. La MDU es un dispositivo más robusto que la ONT, para este diseño se considera la MDU, en general se deberá evaluar el ancho de banda para cada nodo o cliente, ya que de eso dependerá la utilización de la ONT o MDU.
5. Si en el área se tiene un aumento de clientes o usuarios se recomienda la utilización de nuevos puertos PON para no comprometer el ancho de banda de los servicios existentes.
6. La documentación y monitorio de cada celda es de vital importancia para casos de *troubleshooting*.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CRUZ ORNETTA, Víctor. *La telefonía móvil y su salud*. Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones. Perú: INICTEL, 2005. 30 p.
2. FERNÁNDEZ LÓPEZ, Antonio; GONZÁLES LÓPEZ, Daniel; RUBIO LARA, Alberto. *Transmisión y red de datos*. Universidad Politécnica de Madrid, 2002. 57 p.
3. Huawei. *GPON Configuration Guide, Support Huawei*. [en línea]. <<https://support.huawei.com/enterprise/es/doc/EDOC1000078313?section=j00t&topicName=gpon-configuration-guide-profilemode>>. [Consulta: 30 de abril de 2019].
4. Huawei. *Introduction to GPON, Support Huawei*. [en línea]. <<https://support.huawei.com/enterprise/es/doc/EDOC1000078313?section=j003&topicName=introduction-to-gpon>>. [Consulta: 13 de marzo de 2019].
5. NICOLA, Federico Esteban. *Redes celulares (GSM, GPRS)*. [en línea]. <<https://www.dsi.fceia.unr.edu.ar/downloads/distribuidos/material/monografias/RedesGSM.pdf>>. [Consulta: 16 de febrero de 2019].

6. ROBLEDO RAMOS, Carlos. *Introducción a la telefonía celular*. [en línea]. <<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/6895/1/ice181.pdf>>. [Consulta: 5 de octubre de 2018].
  
7. VALLEJO ESPINOSA, Regis Danny. *Diseño de una red de última milla con tecnología GPON para la parroquia Cumbayá en el Distrito Metropolitano de Quito*. [en línea]. <<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/527/1/%E2%80%9CDise%C3%B1o%20de%20una%20red%20de%20%C3%BAltima%20milla%20con%20tecnolog%C3%ADa%20GPON%20para%20la%20parroquia%20Cumbay%C3%A1%20en%20el%20Distrito%20Metropolitano%20de%20Quito.pdf>>. [Consulta: 10 de noviembre de 2018].