

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**TESIS**

**DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO FTTH UTILIZANDO EL ESTANDAR  
GPON PARA LA EMPRESA AMITEL S.A.C, PUNO.**

**PRESENTADO POR:**

**JOSE PIO CHAYÑA BURGOS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PUNO – PERÚ**

**2017**

*Universidad Nacional Del Altiplano*

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO FTTH UTILIZANDO EL  
ESTANDAR GPON PARA LA EMPRESA AMITEL S.A.C, PUNO.**

**TESIS PRESENTADA POR:**

JOSE PIO CHAYÑA BURGOS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO ELECTRÓNICO**

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE : \_\_\_\_\_  
Mg. Ing. TEOBALDO RAUL BASURCO CHAMBILLA

PRIMER MIEMBRO : \_\_\_\_\_  
Mg. Ing. MARCO ANTONIO QUISPE BARRA

SEGUNDO MIEMBRO : \_\_\_\_\_  
Ing. WALTER OSWALDO CUTIPA FLORES

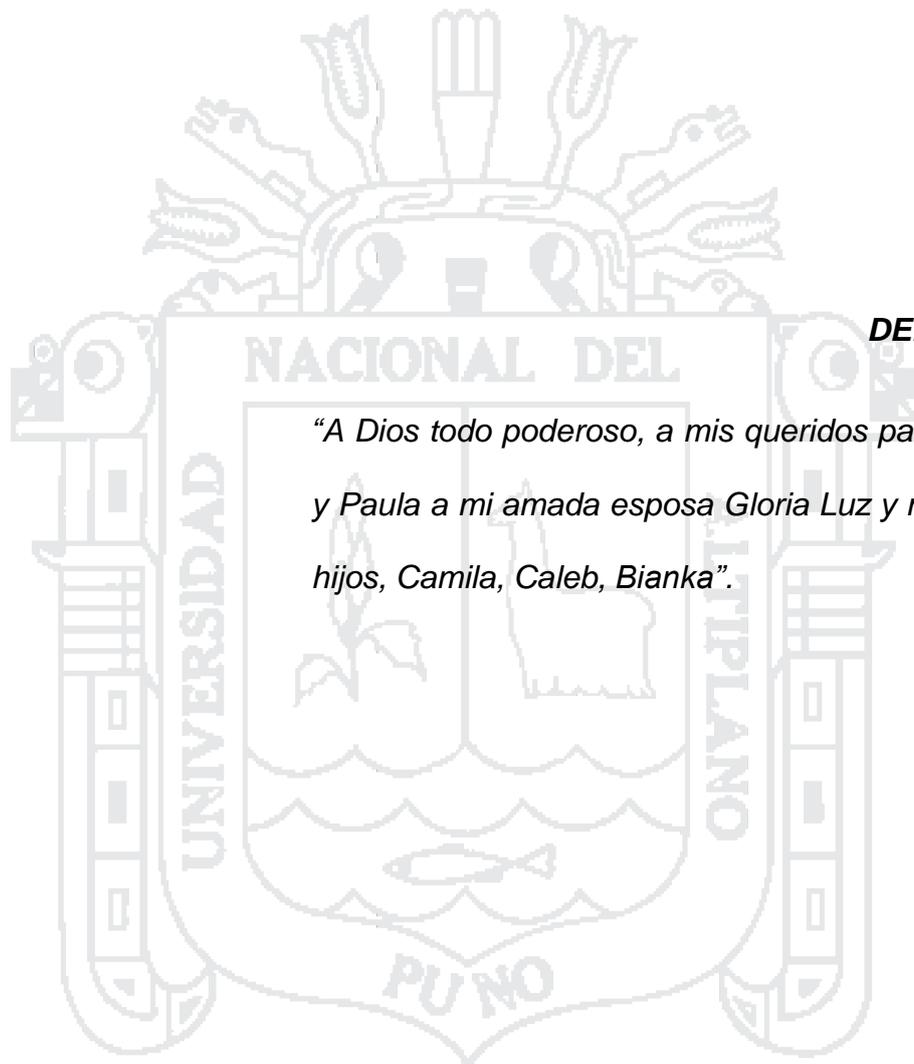
DIRECTOR DE TESIS : \_\_\_\_\_  
Dr. IVAN DELGADO HUAYTA

Puno – Perú

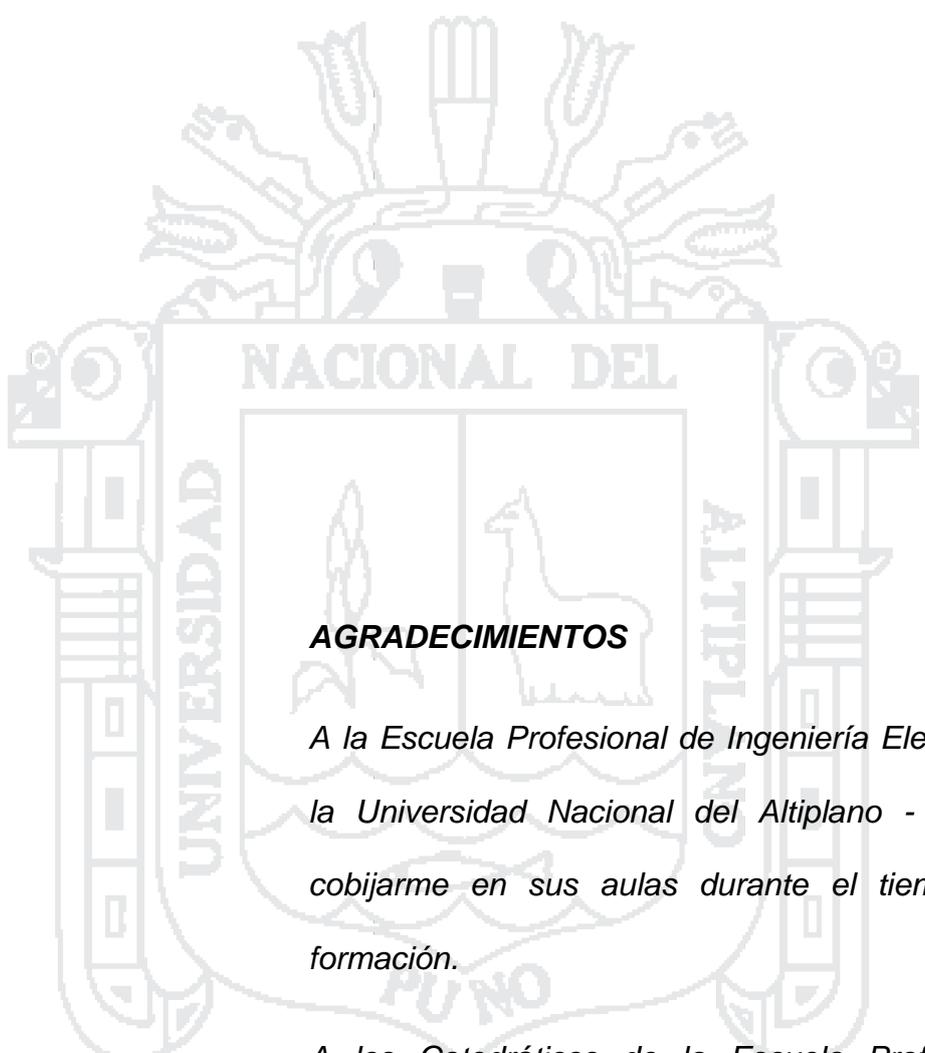
2017

ÁREA: Telecomunicaciones

TEMA: Diseño de redes de última generación

**DEDICATORIA**

*“A Dios todo poderoso, a mis queridos padres Quintín y Paula a mi amada esposa Gloria Luz y mis queridos hijos, Camila, Caleb, Bianka”.*



## **AGRADECIMIENTOS**

*A la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por cobijarme en sus aulas durante el tiempo de mi formación.*

*A los Catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, por compartir sus conocimientos y contribuir con mi formación profesional, por absolver cada uno de mis dudas, con esmero y dedicación en las sesiones de aprendizaje, mi cariño, respeto y admiración por cada uno de ellos.*

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	13
ABSTRACT .....	14
INTRODUCCIÓN .....	15

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	18
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	19

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
2.2. REDES DE ACCESO.....	23
2.3. PRINCIPIOS DEL DISEÑO.....	34
2.4. EQUIPOS DE MEDICIÓN Y CERTIFICACIÓN.....	86
2.5. TIPOS DE ABONADO.....	90
2.6. ESQUEMA GENERAL DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES...	91

### CAPÍTULO III

#### DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	94
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	94

## CAPÍTULO IV

## ANÁLISIS, E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

## DE RESULTADOS

4.1.	CLASIFICACIÓN DE ESTÁNDARES GPON. ....	101
4.2.	ESPECTRO ÓPTICO GPON. ....	101
4.3.	TOPOLOGÍA FÍSICA TECNOLOGÍA GPON. ....	102
4.4.	SISTEMAS DE CONMUTACIÓN PARA PROTECCIÓN DE REDUNDANCIA. ....	103
4.5.	ESTÁNDARES A CUMPLIR PARA EL DISEÑO DE LA ODN PASIVA. ....	107
4.6.	VELOCIDAD DE PUERTO PON ITU-T-G.984.2 REV 1. ....	108
4.7.	PRINCIPALES PARÁMETROS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO SEGÚN ESTÁNDAR GPON / ITU G.984. ....	109
4.8.	SUPERPOSICIÓN DE VIDEO RF EN GPON. ....	112
4.9.	PRESUPUESTO ÓPTICO. ....	113
4.10.	REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE AMITEL S.A.C. PARA LA RED DE ACCESO FTTH. ....	114
4.11.	DESCRIPCIÓN DE PLANTA EXTERNA AMITEL S.A.C. ....	115
4.12.	DISEÑO DE RED DE DISTRIBUCIÓN. ....	120
4.13.	ELEMENTOS ACTIVOS. ....	133
4.14.	CALCULO ECONÓMICO DEL DISEÑO. ....	137
	CONCLUSIONES .....	139
	RECOMENDACIONES .....	140
	BIBLIOGRAFIA .....	141
	ANEXOS .....	145

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
FIGURA N° 01 RED DE ACCESO .....	23
FIGURA N° 02 TOPOLOGÍA EN EL ACCESO DE UNA RED XDSL .....	25
FIGURA N° 03 ESTRUCTURA RED EOC.....	26
FIGURA N° 04 ESTRUCTURA RED HFC .....	27
FIGURA N° 05 CLASIFICACIÓN DE REDES FTTX.....	28
FIGURA N° 06 ARQUITECTURA FTTN.....	29
FIGURA N° 07 ARQUITECTURA FTTC.....	30
FIGURA N° 08 ARQUITECTURA FTTB.....	30
FIGURA N° 09 ARQUITECTURA FTTE .....	31
FIGURA N° 10 ARQUITECTURA FTTP.....	32
FIGURA N° 11 ARQUITECTURA FTTD.....	33
FIGURA N° 12 ARQUITECTURA FTTH.....	34
FIGURA N° 13 TOPOLOGÍA P2P .....	35
FIGURA N° 14 TOPOLOGÍA P2MP .....	36
FIGURA N° 15 OLT P2MP.....	37
FIGURA N° 16 ONT (ONU) ZTE-F660.....	39
FIGURA N° 17 SPPLITER.....	40
FIGURA N° 18 VALORES DE PEDIDA PARA PRESUPUESTO ÓPTICO .	41
FIGURA N° 19 ESTRUCTURA SPPLITER PLC (GUÍA DE ONDA PLANAR).....	42
FIGURA N° 20 ESTRUCTURA FBT (FUSED BICONIC TAPER).....	42
FIGURA N° 21 PARTES DE LA FIBRA ÓPTICA .....	43
FIGURA N° 22 COMPOSICIÓN DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA.....	45

FIGURA N° 23	ATENUACIÓN DE LA LUZ DENTRO DE UNA FIBRA EN LA REGIÓN DE INFRARROJO. ....	47
FIGURA N° 24	TRANSMISIÓN FIBRA MONOMODO .....	49
FIGURA N° 25	FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE GRADIENTE .....	50
FIGURA N° 26	FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE ESCALONADO .....	51
FIGURA N° 27	CONECTOR ST .....	53
FIGURA N° 28	CONECTOR SC .....	53
FIGURA N° 29	CONECTOR LC .....	54
FIGURA N° 30	CONECTOR FC .....	55
FIGURA N° 31	MUESTRA DE EMPALME MECÁNICO .....	55
FIGURA N° 32	REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCEDIMIENTO DE EMPALME MECÁNICO .....	57
FIGURA N° 33	MUESTRA DE EMPALME POR FUSIÓN .....	58
FIGURA N° 34	REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCEDIMIENTO DE EMPALME POR FUSIÓN .....	59
FIGURA N° 35	MANGA DE EMPALME .....	61
FIGURA N° 36	CAJAS DE EMPALME .....	62
FIGURA N° 37	ODF 24 HILOS .....	62
FIGURA N° 38	ROSETA ÓPTICA ABONADO .....	63
FIGURA N° 39	CAJA DE DISTRIBUCIÓN .....	63
FIGURA N° 40	JUMPER SC/UPC DÚPLEX .....	64
FIGURA N° 41	PIGTAIL SC/APC .....	65
FIGURA N° 42	ADAPTADORES PARA DIFERENTES CONECTORES .....	66
FIGURA N° 43	RED CONVENCIONAL CON TECNOLOGÍA APON. ....	67
FIGURA N° 44	RED CONVENCIONAL CON TECNOLOGÍA BPON. ....	68

FIGURA N° 45	ARQUITECTURA RED EPON.....	69
FIGURA N° 46	ESTRUCTURA DE UN SISTEMA GPON.....	70
FIGURA N°47	MULTIPLICACIÓN DE BAJADA (PARTE SOMBREADA INDICA EL MULTICAS REALIZADO POR GEM). ....	74
FIGURA N° 48	ARQUITECTURA DE RED GPON. ....	75
FIGURA N° 49	PRINCIPIO GPON TRANSMISIÓN DOWNSTREAM TIPO BROADCAST.....	76
FIGURA N° 50	PRINCIPIO GPON TRANSMISIÓN UPSTREAM SINCRONIZADO POR LA OLT .....	77
FIGURA N° 51	OTDR EXFO FTB-1 .....	87
FIGURA N° 52	OTDR EXFO FTB-1 CON CAPACIDAD DE RECONOCIMIENTO DE SPPLITER.....	88
FIGURA N° 53	VLF EXFO.....	89
FIGURA N° 54	ELS-50 .....	89
FIGURA N° 55	PPM-350C.....	90
FIGURA N° 56	ESQUEMA GENERAL DE TELECOMUNICACIONES .....	91
FIGURA N° 57	UBICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	95
FIGURA N° 58	UBICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	96
FIGURA N° 59	ESPECTRO ÓPTICO GPON.....	101
FIGURA N° 60	DIAGRAMA GPON PUNTO A PUNTO.....	102
FIGURA N° 61	TOPOLOGÍA PUNTO MULTI PUNTO.....	103
FIGURA N° 62	REDUNDANCIA DE FIBRA DÚPLEX.....	104
FIGURA N° 63	REDUNDANCIA DE PUERTO ACTIVO-OLT.....	104
FIGURA N° 64	REDUNDANCIA DUPLEX TOTAL.....	105
FIGURA N° 65	REDUNDANCIA DUPLEX PARCIAL.....	106

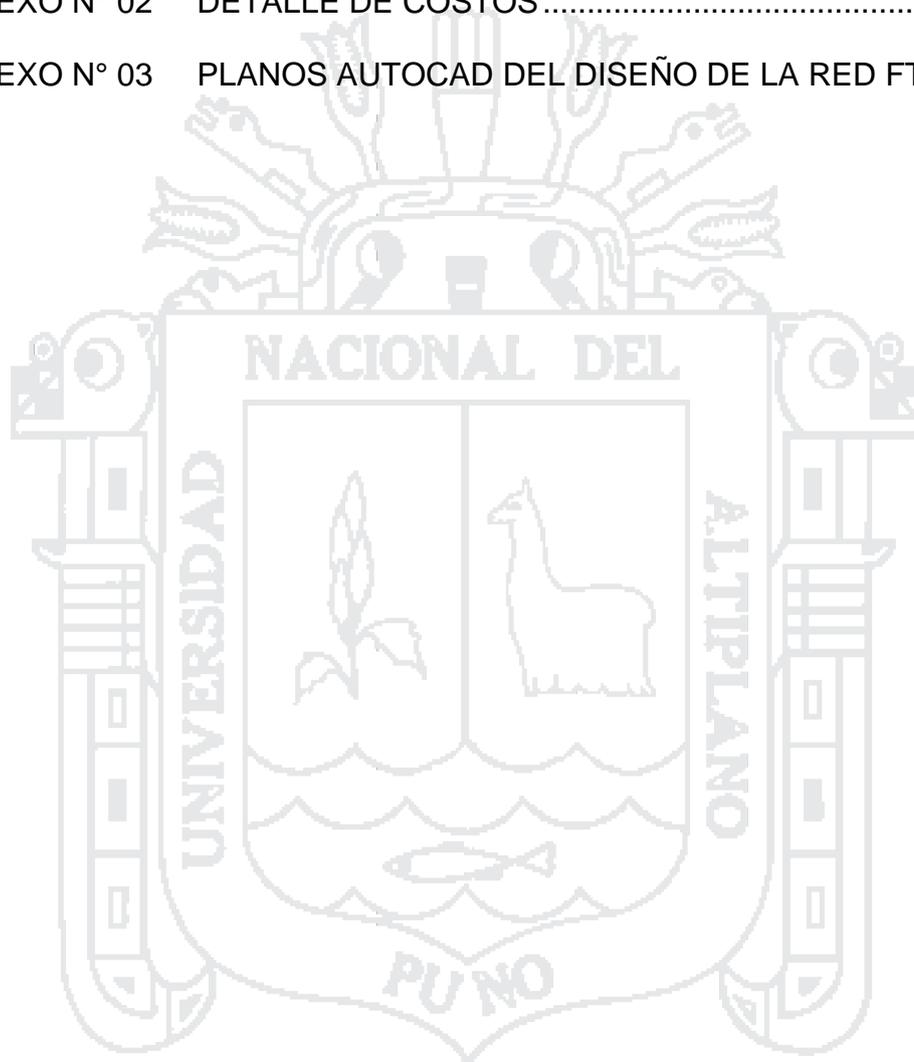
FIGURA N° 66	REDUNDANCIA RECOMENDADA SEGÚN ITU .....	106
FIGURA N° 67	RESUMEN ESTÁNDARES GPON .....	108
FIGURA N° 68	SUPERPOSICIÓN DE VIDEO RF .....	112
FIGURA N° 69	NIVEL DE POTENCIA DE VIDEO .....	113
FIGURA N° 70	PRESUPUESTO ÓPTICO .....	114
FIGURA N° 71	RECORRIDO DE RED DE F.O. AMITEL (TRAMO 1).....	115
FIGURA N° 72	RED CORE CENTRO-NORTE .....	116
FIGURA N° 73	PUNTOS DE INTERCONEXIÓN DEL CENTRO NORTE...	118
FIGURA N° 74	DISEÑO DE RED DE ALIMENTACIÓN PRIMARIA .....	119
FIGURA N° 75	DIVISORES ÓPTICOS .....	122
FIGURA N° 76	DISEÑO DE LOS DIVISORES ÓPTICOS .....	123
FIGURA N° 77	UBICACIÓN DE CAJAS E DISTRIBUCIÓN .....	124
FIGURA N° 78	CABLE-2 (24 HILOS F.O.).....	125
FIGURA N° 79	CABLE-3(24 HILOS F.O).....	126
FIGURA N° 80	CABLE-4 (24 HILOS F.O.).....	127
FIGURA N° 81	CABLE-5 (24 HILOS F.O.).....	128
FIGURA N° 82	CABLE 6 (24 HILOS F.O.).....	129
FIGURA N° 83	RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA.....	130
FIGURA N° 84	PRESUPUESTO ÓPTICO .....	132
FIGURA N° 85	OLT ZTE ZXA10-C300.....	136
FIGURA N° 86	ONT (ONU) ZTE-F660.....	136

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA N° 01	COMPARACIÓN ENTRE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE ACCESO XDSL. .... 25
TABLA N° 02	CLASIFICACIÓN DE ESTÁNDARES GPON. .... 101
TABLA N° 03	POR ABONADO CON TRÁFICO HOMOGÉNEO SIN BLOQUEO U OVERBOOKING..... 109
TABLA N° 04	DATOS CONSIDERAR PARA EL DISEÑO. .... 109
TABLA N° 05	PARÁMETROS DE FIBRA ÓPTICA..... 110
TABLA N° 06	TAZA DE DIVISIÓN ÓPTICA Y PÉRDIDA DE INSERCIÓN. .... 110
TABLA N° 07	PARÁMETROS EN EL DISEÑO PARA LA OLT..... 111
TABLA N° 08	PARÁMETROS EN EL DISEÑO PARA LA ONU. .... 111
TABLA N° 09	CANALES ANALÓGICOS Y CANALES DIGITALES. .... 112
TABLA N° 10	ANCHO DE BANDA REQUERIDO POR SERVICIO. .... 115
TABLA N° 11	PUNTOS DE INTERCONEXIÓN DEL CENTRO NORTE... 117
TABLA N° 12	RED DE ALIMENTACIÓN PRIMARIA..... 120
TABLA N° 13	DISEÑO DE RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA..... 120
TABLA N° 14	ELEMENTOS DE RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA..... 131
TABLA N° 15	RESUMEN DE CÁLCULO PARA EL PRESUPUESTO ÓPTICO..... 133
TABLA N° 16	RESUMEN ESTUDIO ECONÓMICO. .... 138

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO N° 01	DETALLE CALCULO DE PRESUPUESTO OPTICO..... 146
ANEXO N° 02	DETALLE DE COSTOS ..... 152
ANEXO N° 03	PLANOS AUTOCAD DEL DISEÑO DE LA RED FTTH ..... 154



## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se estudia el diseño de una red FTTH (Fiber To The Home, Fibra hasta el hogar) para la empresa de Telecomunicaciones AMITEL S.A.C. utilizando el estándar GPON (Gigabit Passive Optical Network, Red Óptica pasiva Gigabit), estándar establecido por la ITU-T (International Telecommunication Union, Unión Internacional de Telecomunicaciones-Sector de Normalización). En la primera parte de este trabajo de investigación se estudia detalladamente los componentes de la tecnología FTTH y posteriormente se hace una revisión de los diferentes estándares establecidos por la ITU-T que norman la integración y funcionamiento de los diferentes componentes de la tecnología FTTH, además se consideran las recomendaciones de buenas prácticas impartidas por otras organizaciones como la COUNCIL FTTH organización que agrupa a los fabricantes y empresas que desarrollan la tecnología FTTH, posteriormente se diseña una red de acceso utilizando la tecnología FTTH con el estándar GPON entre Jr. Sesquicentenario, AV. Simón Bolívar, Jr. Los Incas y Av. Costanera de la ciudad de Puno, que contemplan 1500 casas pasadas en aproximadamente veinte cuadras, el diseño presentado tienen la capacidad para transmitir servicios de telecomunicaciones como internet de alta velocidad, telefonía fija, IpTv, OTT, VOD, servicios que la empresa AMITEL S.A.C. podrá ofrecer a sus abonados utilizando la red de acceso diseñada.

**Palabras clave:** Fibra óptica, red acceso, ancho de banda, GPON, FTTH.

## ABSTRACT

In the present research work the design of an FTTH (Fiber To The Home) network for the telecommunications company AMITEL S.A.C. Using the GPON standard (Gigabit Passive Optical Network), standard established by the ITU-T (International Telecommunication Union-International Telecommunication Union-Standardization Sector). In the first part of this research work, the components of the FTTH technology are studied in detail and a review is made of the different standards established by the ITU-T that regulate the integration and operation of the different components of FTTH technology. Are considered the recommendations of good practices given by other organizations such as the FTTH COUNCIL organization that groups the manufacturers and companies that develop the FTTH technology, later it is designed an access network using FTTH technology with the GPON standard between Jr. Sesquicentenario, AV . Simón Bolívar, Jr. The Incas and Av. Costanera of the city of Puno, which contemplate 1500 houses passed in approximately twenty blocks, the design presented have the capacity to transmit telecommunications services such as high speed internet, fixed telephony, IpTv, OTT , VOD, services that the company AMITEL SAC You can offer your subscribers using the designed access network.

**Key words:** Fiber optic, access network, bandwidth, GPON, FTTH.

## INTRODUCCIÓN

La Red Óptica Pasiva con capacidad de Gigabit (GPON o Gigabit-capable Passive Optical Network) es una tecnología de acceso de telecomunicaciones que utiliza la fibra óptica para llegar hasta el abonado estandarizado en el año 2003-2004 por la ITU-T en las cuales se garantiza la interoperabilidad entre los distintos fabricantes. En la actualidad la tecnología GPON es uno de los estándares más modernos para la implementación de redes de acceso de última milla para proveedores de telecomunicaciones; esta tecnología les permite ofrecer el acceso a diferentes tipos de comunicación a sus abonados como el acceso a Internet de alta velocidad, Televisión (OTT, video en demanda o TV digital, TV convencional, IP TV). Debido que esta tecnología usa como medio físico la fibra óptica tiene grandes ventajas sobre el cable de cobre, como la posibilidad de un mayor ancho de banda y menos interferencias por ruido, debido a estas ventajas de la fibra óptica se crearon las redes PON (Pasive Óptica Network), redes que permite a los usuarios y operadores de telecomunicaciones contar con un mayor ancho de banda y mejores servicios, su naturaleza punto a multipunto, resulta en ahorros significativos en la instalación de la fibra óptica y en interfaces ópticos otra de las ventajas es que estas redes no requieren de elementos activos entre el operador y el abonado lo que es una ventaja para el operador en gastos de operación e implementación. A finales de los años 90, PON comenzó a ser considerado por los operadores de telecomunicaciones como una interesante solución para ofrecer acceso de fibra óptica hasta los usuarios residenciales. En el presente trabajo de investigación se diseña una red de acceso utilizando la tecnología FTTH del estándar GPON para la empresa

AMITEL S.A.C, para cumplir este objetivo el presente trabajo está dividido como sigue:

**CAPÍTULO I:** En este capítulo se trata las generalidades de la investigación, como la descripción del problema, formulación del problema de investigación, se identifica el problema general y problemas específicos además se fijan los objetivos generales, objetivos específicos, así como la justificación del problema.

**CAPÍTULO II:** En este capítulo se detalla los conceptos básicos de la investigación, iniciando de los antecedentes internacionales, nacionales y locales, seguidamente se describen el marco teórico que nos ayudara a sostener la investigación.

**CAPÍTULO III:** En este capítulo se describe el diseño metodológico de la investigación, y se define el tipo de investigación como descriptivo y la población la ciudad de Puno, el tipo de muestro se define como muestro no probabilística selección a criterio del investigador, la zona seleccionada está formado por el Jr. Sesquicentenario, Av. Simón Bolívar, Jr. Los Incas, Av. Costanera Norte, a su vez en este capítulo se realizan las pruebas de hipótesis y su validación según los objetivos planteados.

**CAPÍTULO IV:** En este capítulo se realiza el análisis e interpretación de los resultados de investigación, para lo cual se revisa los estándares ITU-T que ayudan el diseño de la red de acceso con tecnología FTTH, se describe los procedimientos recomendados para su diseño y se realiza los cálculos recomendados por la ITU-T y la CONSIL FTTH que nos ayudan comprobar las hipótesis de la investigación.



**CAPÍTULO I**  
**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE**  
**INVESTIGACIÓN**

## 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

AMITEL S.A.C. es una operadora de telecomunicaciones que tiene la necesidad de implementar una red de acceso convergente acorde a las exigencias tecnológicas actuales para lo cual necesita conocer las ventajas y desventajas de las tecnologías de red de acceso existentes entre ellas la tecnología FTTH con el estándar GPON.

Debido que la tecnología FTTH es relativamente nueva en nuestra región no se cuenta con información que pueda ser usado por los operadores de telecomunicaciones y profesionales del área que sirvan como base para su diseño y posterior implementación.

La tecnología de red de acceso FTTH es largamente usado en países de Asia y Europa para brindar servicios de telecomunicaciones a hogares y empresas debido que usa fibra óptica de extremo a extremo y supera largamente las dificultades presentadas en redes tradicionales como ADSL, HFC, EOC.

## 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

### 1.2.1 Problema general.

¿Cómo sera el diseño de una red de acceso FTTH utilizando el estándar GPON para la empresa AMITEL S.A.C., Puno?

### 1.2.2 Problemas específicos.

- ¿Cuáles son los componentes de una red FTTH?.
- ¿Qué normativas ITU-T, deberán cumplirse en el diseño de una red FTTH?.

- ¿Qué procedimiento se debe seguir en el diseño de una red FTTH?.

### 1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

#### 1.3.1 Objetivo general.

Diseñar una red de acceso FTTH utilizando el estándar GPON para empresa AMITEL S.A.C., Puno.

#### 1.3.2 Objetivos específicos.

- Estudiar los componentes de una red FTTH.
- Estudiar las normativas ITU-T, para el diseño de redes FTTH.
- Determinar los procedimientos en el diseño de una red FTTH.

### 1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

La creciente necesidad de los clientes en tener acceso a varios servicios de comunicación en cualquier lugar y tiempo ha obligado a las empresas de telecomunicaciones a innovar sus redes de última milla, esta necesidad en parte es debido al creciente desarrollo de equipos de uso con mayores prestaciones que pueden ejecutar nuevos servicios como IPTV, OTT, VOD, video en calidad 4K servicios que son más exigentes en ancho de banda y calidad de servicio.

Las redes actualmente implementadas no son capaces de satisfacer con éxito la implementación de estos servicios, por ese motivo es importante documentar e investigar la implementación de nuevas alternativas en redes de última milla que satisfagan el requerimiento de los abonados y de las operadoras.

La necesidad de contar con documentación acerca de la tecnología FTTH con el estándar GPON que sirva como base para futuras implementaciones tanto a operadoras como a profesionales del área y de esa forma aportar a mejorar los servicios de telecomunicaciones en nuestra región.





## 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

### 2.1.1 Antecedente internacional.

#### a) Netlife Company.

Es un proveedor de Internet que opera en Ecuador ha desplegado una red de acceso con tecnología FTTH abarca Quito y Guayaquil. La operadora lanzó sus primeros servicios de FTTH en 2010. a diciembre del 2015 cuenta con 300,000 casas pasadas y 60,000 abonados (Council, 2015).

#### b) Antel.

Es una empresa de Uruguay el único con autorización para brindar servicio de banda ancha en su país, desde noviembre de 2011 ha desplegado su red de acceso FTTH y tiene 1,197.000 casas pasadas y 502,000 abonados (Council, 2015).

#### c) CTV Telecom.

CTV Telecom es una compañía de telecomunicaciones y un proveedor de televisión de pago en Panamá. CTV Telecom se involucró en el despliegue de FTTH en 2007. A dicha fecha, se anunció que iba a desplegar FTTH en algunas zonas de la ciudad de Panamá, teniendo como su primer objetivo poder ofrecer servicios de IPTV de valor agregado a los usuarios finales (Council, 2015).

### 2.1.2 Antecedente nacional.

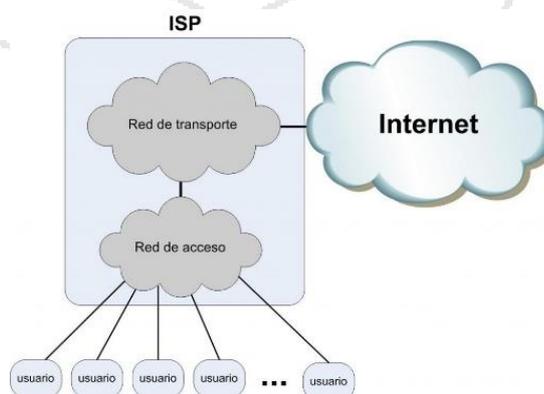
En el Perú la tecnología predominante para brindar acceso a internet fijo es el ADSL (usando la red de cobre de la telefonía), seguida por el Cable Modem (usando la red de televisión por cable -conformada por fibra óptica hasta un

tramo y llegando al hogar por cable coaxial). Sin embargo, hay varios despliegues de redes FTTH en ejecución entre ellas la desplegada por Misticom y Telefónica del Perú.

## 2.2 REDES DE ACCESO.

Se conoce como red de acceso o red de última milla la parte de las redes que conecta los usuarios finales (residenciales o corporativos) a las redes de las operadoras de telecomunicaciones. El término de última milla se comenzó a utilizar en telefonía para referirse a la conexión entre el abonado y la central telefónica. A esta conexión también se la conoce como bucle de abonado. Todas las conexiones entre los abonados y las centrales forman la llamada red de acceso. Mientras que las conexiones entre las diferentes centrales de diferente jerarquía forman lo que se conoce como red de transporte. Estos términos se pueden aplicar de igual manera a las redes telemáticas actuales. (Redestelemáticas, 2012).

FIGURA N° 01  
RED DE ACCESO



Fuente: (Redestelemáticas, 2012).

### 2.2.1 Línea Digital de Suscriptor (xDSL, Digital Subscriber Line).

Aquellas tecnologías que utilizan técnicas de modulación y códigos de línea adecuados para permitir que sobre el par trenzado telefónico se transmita datos a altas velocidades, se agrupan bajo las siglas xDSL (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

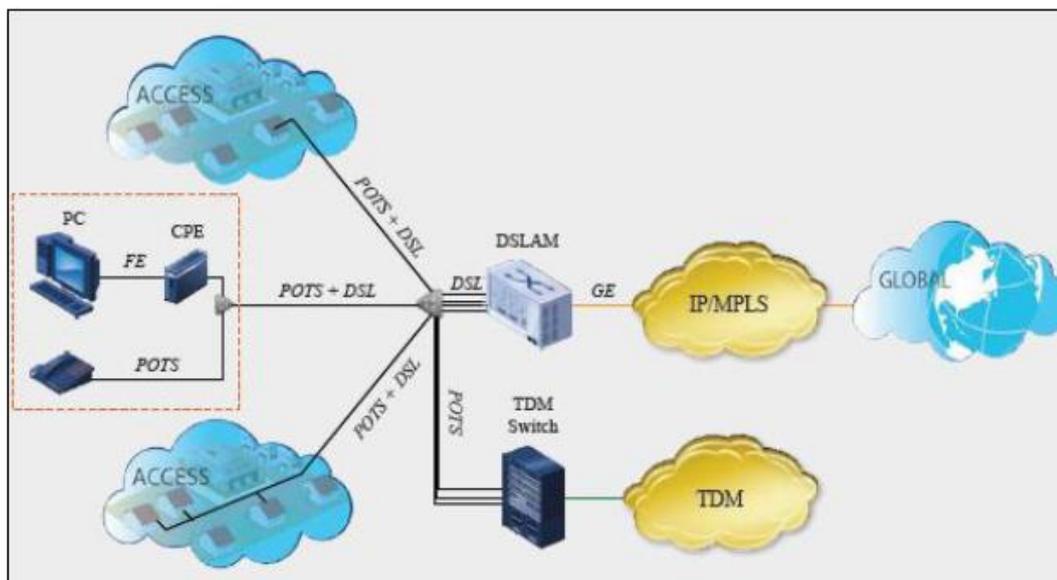
Es la “tecnología de acceso” más utilizada por los clientes residenciales y pequeñas empresas en muchos países. Esto es debido a que se aprovecha la red de acceso de cable de cobre de los operadores telefónicos, es decir, la red de acceso utilizada para el teléfono tradicional. La gran ventaja que supone es que no es necesario instalar nuevos y costosos tendidos de cable. Esto ha permitido el despliegue más o menos rápido de la Banda Ancha<sup>1</sup> en muchos países. Su principal inconveniente es que este tipo de cableado no está pensado para la transmisión de datos y por tanto la calidad de la transmisión depende mucho de la calidad del propio cableado, dificultando en muchos casos ofrecer las velocidades que la tecnología ADSL permite. Otro factor que influye drásticamente en las prestaciones de la conexión ADSL es la distancia entre el abonado y la central. Cuanto mayor sea esta distancia más se reducen las prestaciones, haciendo prácticamente inviable su uso para distancias a partir de 5 Km. (Redestelematicas, 2012).

---

<sup>1</sup> La expresión Banda Ancha se utiliza para referirse a una conexión de datos que cumple con los requisitos necesarios (especialmente velocidad de transferencia) para proporcionar al usuario final servicios avanzados como transferencia de video y audio en tiempo real.

FIGURA N° 02

TOPOLOGÍA EN EL ACCESO DE UNA RED XDSL



Fuente: (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

TABLA N° 01

COMPARACIÓN ENTRE LAS PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE ACCESO XDSL

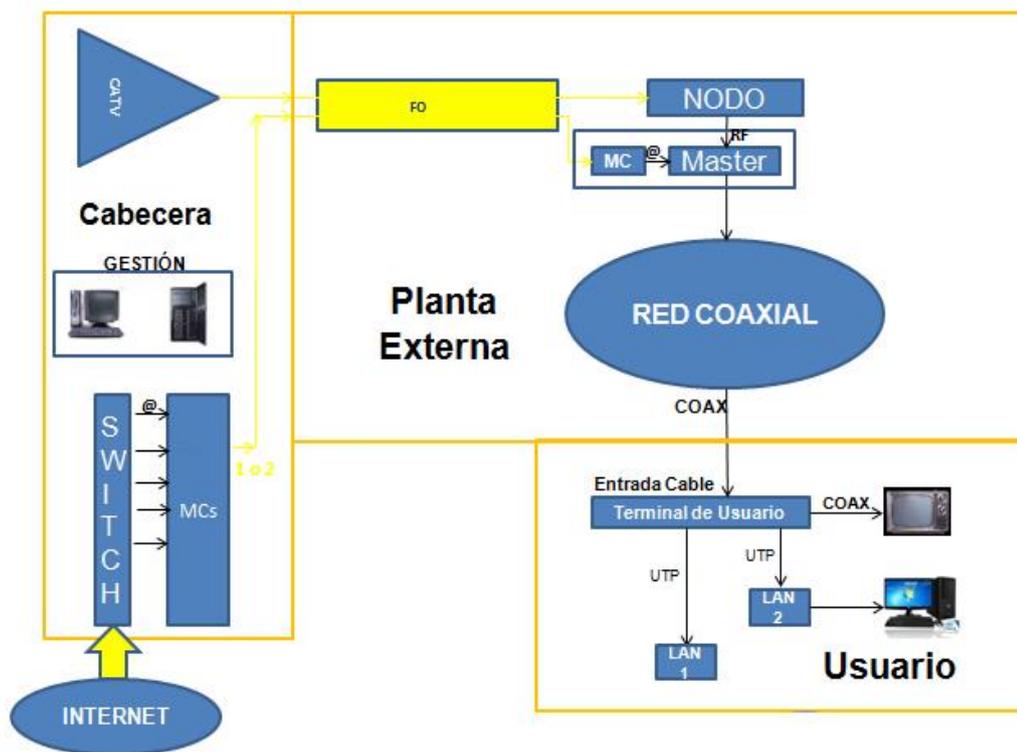
Tecnología	Velocidad	Distancia máxima	Aplicación
ADSL(Línea Digital de Suscriptor Asimétrica)	Down: 8 Mbps Up: 1 Mbps	5 Km	Acceso a Internet, video bajo demanda, acceso remoto LAN, acceso a bases de datos, multimedia interactiva.
ADSL2(Línea Digital de Suscriptor Asimétrica 2)	Down: 12 Mbps Up: 1 Mbps	5,5 – 6,5 Km	Igual que ADSL pero con mayor ancho de banda y velocidad.
VDSL(Línea Digital de Suscriptor de muy alta velocidad)	Down: 55 Mbps Up: 55 Mbps	1,5 Km	Igual que ADSL más televisión de alta definición en distancias cortas, alcanza hasta 1350m en modo asimétrico
VDSL2(Línea Digital de Suscriptor de muy alta velocidad 2)	Down: 100 Mbps Up: 100 Mbps	1,5 Km	A más de VDSL proporciona te de alta definición, video a la carta, videoconferencia, acceso a Internet de alta velocidad y voz IP entre otros servicios Televisión

Fuente: (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

**2.2.2 EOC (Ethernet Over Coaxial).**

Ethernet Over Coaxial es una tecnología que trabaja con modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), que es también el núcleo la tecnología de los llamados sistemas de comunicaciones móviles 4G, y es ampliamente utilizado en B3G/4G, WiMax, WiFi, DVB - T, ADSL2+. Al integrar FEC y técnica de modulación adaptativa con OFDM, EOC puede trabajar de forma estable en las redes de cable pobres con relación a niveles de SNR. EOC se desarrolla de acuerdo a los estándares de HFC. La cobertura total de una red de distribución por cable con un nodo de fibra que se puede lograr simplemente mediante la instalación de un Master en el nodo de fibra, con instalar unos Jumpers en los amplificadores CATV existentes, sin ningún cambio en el la arquitectura de la red de cable.

FIGURA N° 03  
ESTRUCTURA RED EOC

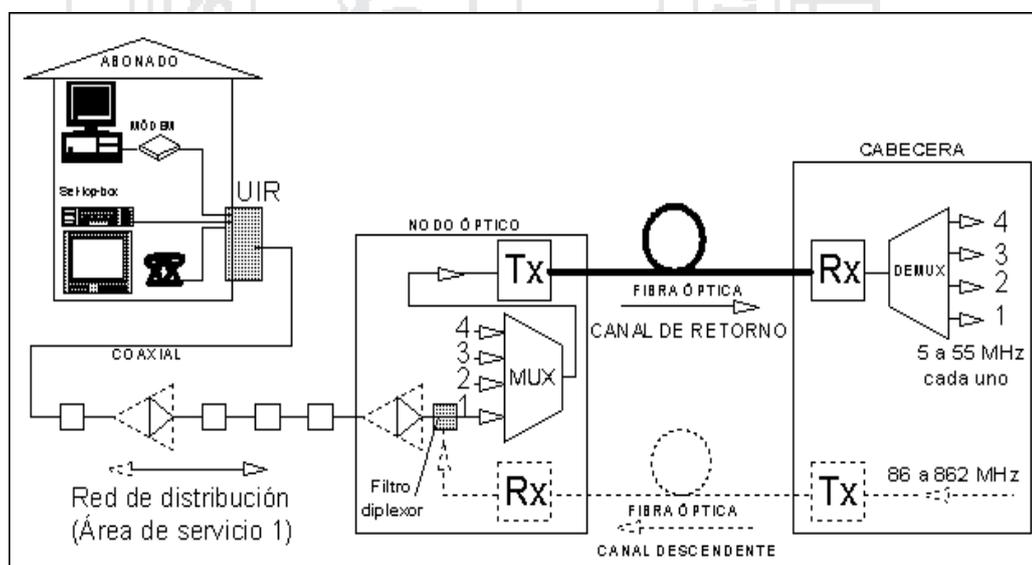


Fuente: (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012)

### 2.2.3 Redes híbridas de fibra y cable (HFC).

Esta tecnología permite el acceso a internet de banda ancha utilizando las redes CATV existentes. Se puede dividir la topología en dos partes. La primera consiste en conectar al abonado por medio de cable coaxial a un nodo zonal y posteriormente interconectar los nodos zonales con fibra óptica. Esta tecnología comienza a implementarse a través de operadores de CATV, que además de brindar el servicio de televisión por cable anexaron transportar por el mismo medio la señal de internet de banda ancha. A través del uso de cada una de estas tecnologías, la red es capaz de aprovecharse de los beneficios y minimizar el impacto de las limitaciones inherentes a cada una (Twoway, 2015).

FIGURA N° 04  
ESTRUCTURA RED HFC



Fuente: (Vargas Garzon, 2012).

### 2.2.4 Redes FTTH.

FTTH es un término genérico aplicable a aquellas tecnologías de banda ancha que utilizan en su arquitectura de red la fibra óptica para reemplazar todo o parte del par de cobre habitual del bucle de línea. El término es utilizado para

varias configuraciones de despliegue de fibra (FTTN, FTTC, FTTB, FTTH) que están diferenciadas únicamente por la última letra que sustituye la x y que indica el tramo de la red implementado con fibra óptica (López Garcés & Macea Ortega, 2014).

FIGURA N° 05  
CLASIFICACIÓN DE REDES FTTX



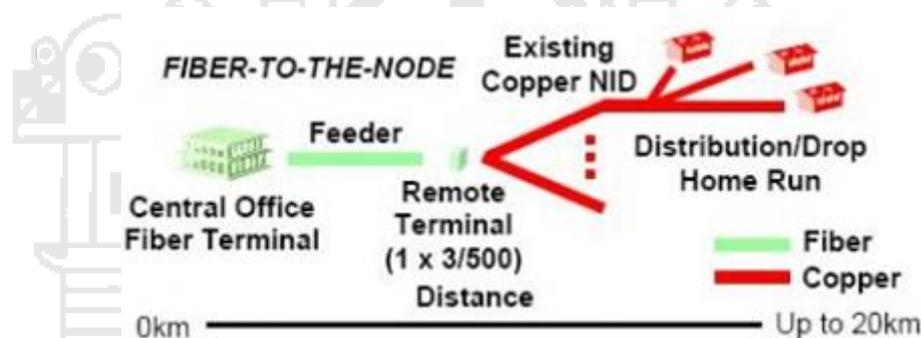
Fuente: (López Garcés & Macea Ortega, 2014).

### 2.2.5 FTTN (Fiber To The Node).

Fibra hasta el nodo (FTTN), también llamada fibra para el barrio o la fibra hasta el armario (FTTCab), es una arquitectura de telecomunicaciones basados en cables de fibra óptica para ejecutar un armario que sirve un barrio. Normalmente, los clientes conectarse a este aparato con cable coaxial tradicional o el cableado de par trenzado. El área servida por el gabinete es por lo general menos de 1.500m de radio y puede contener varios cientos de clientes. (Si el gabinete atiende un área de menos de 300 m de radio luego de la arquitectura que se suele llamar la fibra hasta la acera Fibra hasta el nodo

permite el suministro de servicios de banda ancha, como Internet de alta velocidad. Protocolos de comunicaciones de alta velocidad, tales como acceso de banda ancha por cable (DOCSIS general) o alguna forma de línea de abonado digital (DSL) se utilizan entre el gabinete y los clientes. Las tarifas de datos varían de acuerdo con el protocolo exacto utilizado y de acuerdo con lo cerca que el cliente es el gabinete (López Garcés & Macea Ortega, 2014).

FIGURA N° 06  
ARQUITECTURA FTTN



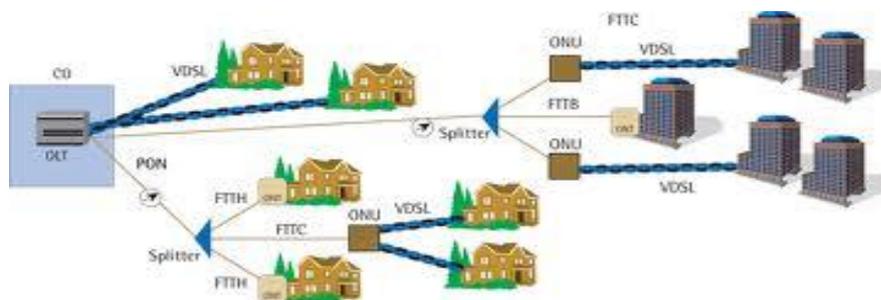
Fuente: (López Garcés & Macea Ortega, 2014).

### 2.2.6 FTTC (Fiber To The Curb).

Fibra hasta un punto remoto es un método de servicios de banda ancha de alta velocidad para negocios y hogares, acortando la distancia que viaja la conexión de la línea de cobre. Esto se logra mediante la instalación de "DSLAM de la calle" que actúan como un cambio pequeño cerca de la casa o negocio. La conexión entre estos DSLAM Street y la central telefónica es de fibra (por lo tanto de fibra hasta el gabinete). El resto de la distancia entre el DSLAM calle y las instalaciones del cliente es el cobre, pero la distancia es lo suficientemente corto como para usar la tecnología VDSL (Very-high-bitrate de línea de abonado digital), que tiene una velocidad máxima de carga teórica de 10 Mbps y una velocidad de descarga de 40Mbps (López Garcés & Macea Ortega, 2014).

FIGURA N° 07

ARQUITECTURA FTTC



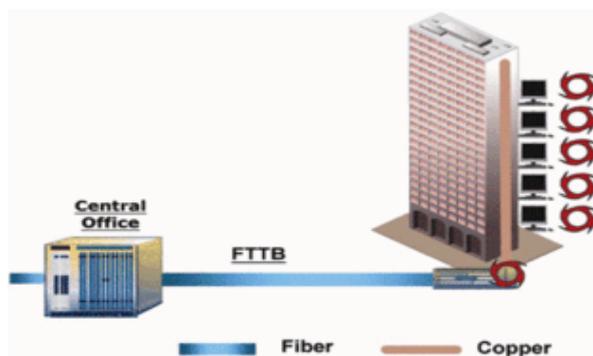
Fuente: (López Garcés & Macea Ortega, 2014).

2.2.7 FTTB (Fiber To The Building).

Fibra hasta el edificio también llamada fibra hasta el sótano, es una forma de prestación de comunicación de fibra óptica que necesariamente se aplica sólo a aquellas propiedades que contienen viven múltiples o espacios de trabajo. La fibra óptica termina antes de que realmente llega a los suscriptores que viven o trabajan el espacio en sí, sino que se extiende a la propiedad que contiene ese espacio que viven o trabajan. La señal se transmite a la distancia final utilizando todos los medios no ópticos, incluyendo par trenzado, cable coaxial, conexión inalámbrica, la comunicación o la red eléctrica (López Garcés & Macea Ortega, 2014).

FIGURA N° 08

ARQUITECTURA FTTB

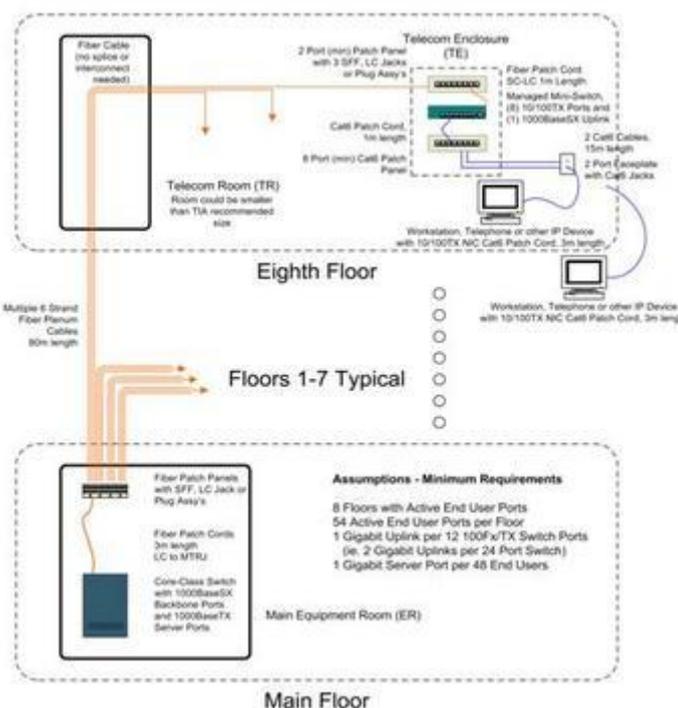


Fuente: (López Garcés & Macea Ortega, 2014).

**2.2.8 FTTE (Fiber to the telecom enclosure).**

Fibra a la caja de telecomunicaciones es arquitectura compatible con los estándares del sistema de cableado estructurado que se extiende la red troncal de fibra de la sala de equipos, a través de la sala de telecomunicaciones, y directamente a un recinto de telecomunicaciones (TE) instalado en un espacio común para servir a un número de usuarios en un área de trabajo. Su aplicación se basa en la TIA/EIA-569-B "Camino y Espacios", la cual define el recinto de Telecomunicaciones (TE), y TIA/EIA-568-B.1 Addendum 5, que define el cableado cuando un TE es utilizado.

FIGURA N° 09  
ARQUITECTURA FTTE



Fuente: (López Garcés & Macea Ortega, 2014).

La arquitectura permite FTTE para cualquier elección los medios de comunicación de la TE en el área de trabajo, ya que puede ser de cobre de par

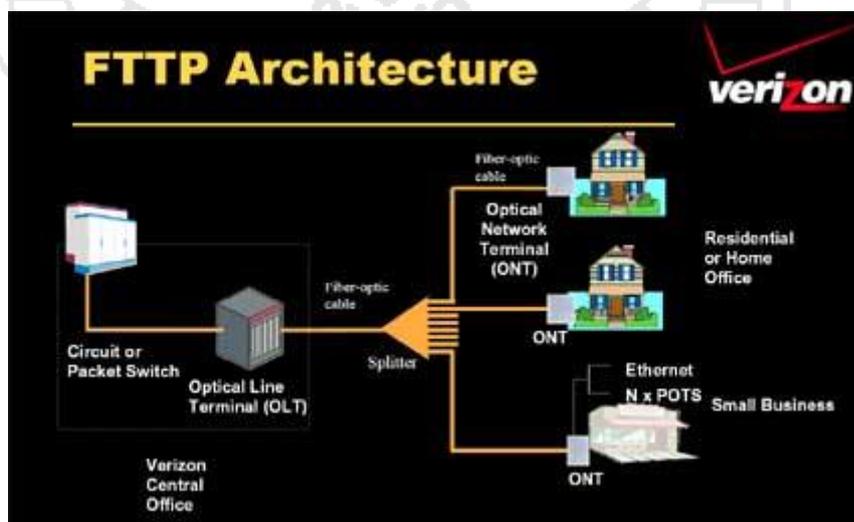
trenzado balanceado, fibra óptica multimodo o monomodo de fibra óptica o inalámbrica, incluso si un punto de acceso está instalado en o cerca de la TE.

### 2.2.9 FTTP (Fiber To The Premises).

La fibra óptica hasta las instalaciones se refiere a un tipo de tecnología de telecomunicaciones donde se utilizan cables de fibra óptica para conectar el equipo de distribución que se encuentra más cercano al usuario destinatario de la conexión directamente a la red principal de telecomunicaciones.

La diferencia entre FTTP y FTTH (Fiber To The Home) radica en que la conexión FTTH tiene un alcance directo hasta el espacio físico donde se encuentra el destinatario final de la conexión (hogar, negocio, etc.) mientras que la conexión de tipo FTTP se realiza hasta "el equipo distribuidor más cercano" al destinatario, llegando hasta el lugar físico donde se encuentra el destinatario de la conexión por otros medios como pueden ser cable coaxial o par trenzado de cobre, entre otros.

FIGURA N° 10  
ARQUITECTURA FTTP

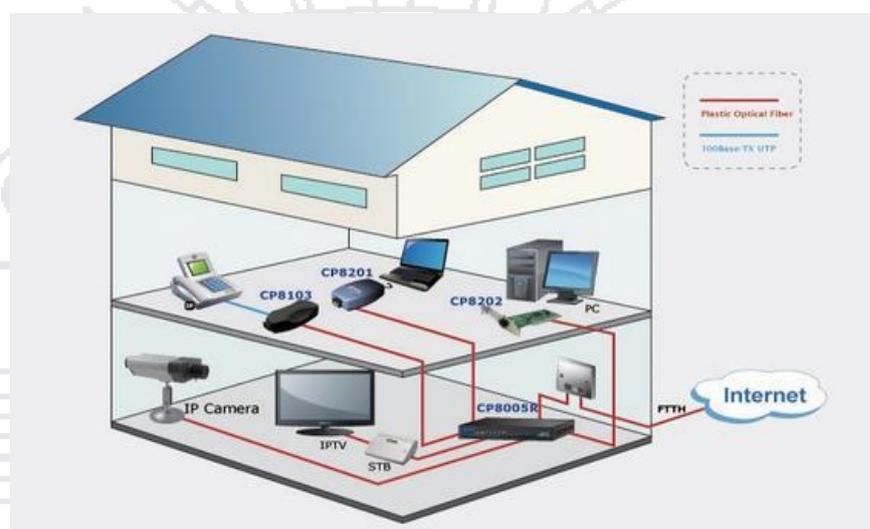


Fuente: (Council, 2015).

### 2.2.10 FTTD (Fiber to the Desk).

Fibra a la mesa, la conexión de fibra óptica se instala desde la sala de ordenadores principales de un terminal o un convertidor de fibra media, cerca de la mesa de los usuarios.

FIGURA N° 11  
ARQUITECTURA FTTD



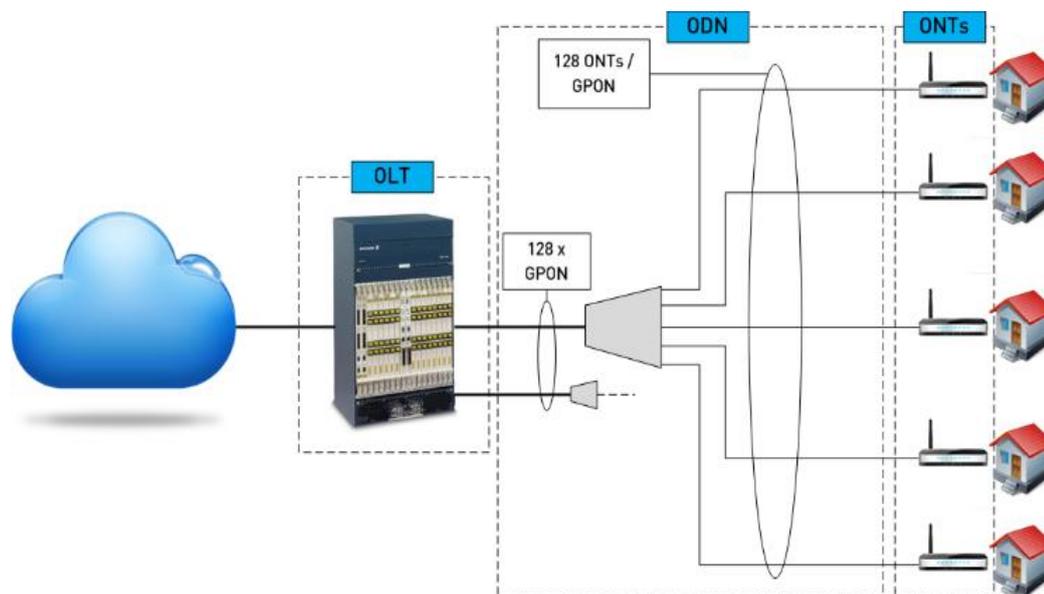
Fuente: (López Garcés & Macea Ortega, 2014).

### 2.2.11 FTTH (Fiber To The Home).

La tecnología FTTH realiza el despliegue de la red con fibra óptica de extremo a extremo. Se trata de llegar con fibra óptica hasta el hogar del abonado, directamente desde el nodo de servicio.

FIGURA N° 12

## ARQUITECTURA FTTH



Fuente: (López Garcés & Macea Ortega, 2014).

## 2.3 PRINCIPIOS DEL DISEÑO.

### 2.3.1 Descripción de la red de acceso de fibra óptica FTTH.

La tecnología FTTH es la que permite un despliegue más ventajoso en la actualidad. Es una red óptica pasiva (PON) que elimina la necesidad de instalar en sus despliegues repetidores o elementos activos, que hasta ahora se hacían necesarios en las redes de cobre, para hacer llegar la señal desde la central hasta el domicilio del usuario. La ausencia de elementos activos implica una mayor facilidad de diseño de la red y una menor inversión en infraestructuras. La red FTTH se basa en la utilización de fibra óptica desde la central hasta el domicilio del cliente. Los principales elementos que forman parte de la red FTTH son: equipo de central OLT (Optical Line Termination), equipo de cliente ONT (Optical Network Termination), divisores ópticos (splitters) y cable de fibra de diferentes capacidades (Pérez Cuenca, 2012).

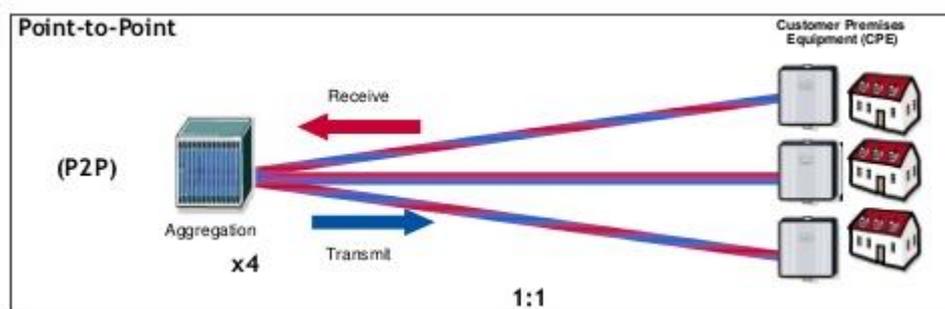
### 2.3.2 Topología redes FTTH.

La topología de redes FTTH puede ser de dos tipos punto a punto (P2P) y punto multipunto (P2MP).

#### a) Punto a Punto (P2P).

Fibra dedicada en exclusiva desde la central hasta el usuario, sólo en casos concretos en que se solicita todo el ancho de banda. Se realiza la implementación en Ethernet Punto a Punto (EP2P). Permite alcanzar velocidades simétricas de 100 Mb/s entre central y usuario, y se puede alcanzar hasta 10 Gb/s por medio de tarjetas adecuadas en ambos extremos. Los costes son más elevados que para la topología P2MP en cuanto a despliegue de fibra óptica y equipamiento en central.

FIGURA N° 13  
TOPOLOGÍA P2P

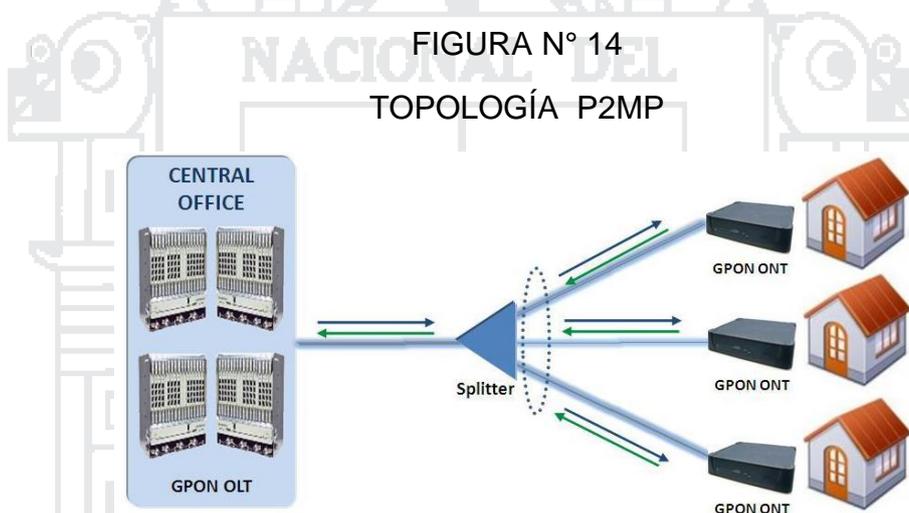


Fuente: (López Garcés & Macea Ortega, 2014)

#### b) Punto a MultiPunto (P2MP).

Desde la central parte una fibra óptica común para un conjunto de usuarios realizándose una división de la señal por medio de un divisor óptico pasivo (splitter) intermedio en N fibras hasta los usuarios finales en topología de árbol. La división de la señal se puede hacer en una o dos etapas usando uno o

dos splitters en serie. Sólo es necesaria una fibra de salida de central para un grupo de usuarios por lo que es menor el coste de despliegue que en la topología P2P. Los datos de bajada se transportan en una longitud de onda de la banda de 1480-1500 nm que se distribuye a través del splitter a todos los usuarios de esa fibra. Para los datos de subida se usa una longitud de onda de la banda de 1260-1360 nm para evitar interferencias con la señal de bajada encargándose el splitter de combinar todas las transmisiones realizadas hacia central para hacerlas llegar a la central (Pérez Cuenca, 2012).



Fuente: (ADSLZONE, 2014).

### 2.3.3 Elementos red FTTH punto multipunto.

Los principales elementos que forman parte de la red FTTH son:

- OLT (Optical Line Termination).
- Una red óptica de distribución ODN compuesta por: cables de fibra óptica, cajas de empalmes, divisores ópticos o Splitters, también conocidos como elementos de planta externa.
- ONT (Optical Network Termination).

**a) OLT (Optical Line Termination).**

OLT es un elemento activo del cual parten las redes de fibra óptica hacia los usuarios, los OLT tienen una capacidad para dar servicio a miles de consumidores conectados al servicio que se desea prestar. A más de lo citado anteriormente agrega el tráfico proveniente de los clientes y lo encamina hacia la red de agregación, quizá una de las funciones más importantes que desempeña el OLT es de hacer las veces de enrutador para ofrecer todos los servicios demandados por el usuario.

Este elemento está ubicado en el centro de operaciones del operador, y consta de varios puertos de línea XPON, cada uno puede soportar hasta 64 ONT. Aunque depende del fabricante, existen sistemas que pueden alojar hasta 7.168 ONT's en el mismo espacio que un DSLAM (Multiplexor de línea de acceso digital del abonado).

FIGURA N° 15

OLT P2MP



Fuente: (ZTE, 2014).

**b) Red óptica de distribución (ODN, Optical Distribution Network)**

La ODN proporciona los medios ópticos de transmisión desde la OLT hacia el usuario, y viceversa. Es una parte crítica en las redes FTTH, ya que las cabeceras y los equipos de los usuarios se pueden actualizar fácilmente, durante periodos de 20, 30 o más años y utilizarán la misma ODN, por lo tanto, el diseño y la implementación se debe realizar de forma fiable para poder resistir el paso del tiempo.

Sus principales componentes son: cables de fibra óptica, cajas de empalmes, divisores ópticos o Splitters, cajas de abonado, conectores, cajas de distribución y otros elementos de planta externa.

**c) ONT (Optical network Terminal, Equipo Terminal de Red óptica)**

El ONT es el elemento que se sitúa en la casa del usuario donde termina la fibra óptica y ofrece las interfaces del usuario. Las ONT deben estar fabricadas de manera tal que soporten las peores condiciones ambientales y generalmente vienen equipadas con baterías. Existe una gran variedad de ONTs que están en función de los servicios que se quiera brindar al usuario entre otros se puede citar:

- **Interfaces de Fast-Ethernet** que alcancen velocidades hasta 100Mbps, generalmente para consumidores residenciales, ofreciendo servicios de TV e Internet.
- **Interfaces de Gigabit-Ethernet** que alcanzan velocidades hasta de 1Gbps usadas para servicios empresariales.
- **Interfaces E1 o STM-1** específicos para brindar servicios corporativos.

Debido que no existe interoperabilidad total entre la OLT y ONT GPON, los fabricantes de estas deben ser los mismos para que exista compatibilidad entre sí.

En las arquitecturas FTTN (Fibra hasta el Nodo) las ONT son sustituidas por ONU, que ofrecen habitualmente VDSL2 hasta las casas de los abonados, reutilizando así el par de cobre instalado, pero, a su vez, consiguiendo las mínimas distancias necesarias para alcanzar velocidades simétricas de hasta 100 Mbps por abonado. Los elementos que conforman la ONT son similares a los bloques constructivos de la OLT, ya que la ONT funciona con una única interfaz PON, se omite la función de conexión cruzada, para el manejo del tráfico se añade la función MUX y DMUX. (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

FIGURA N° 16  
ONT (ONU) ZTE-F660



Fuente: (ZTE, 2014).

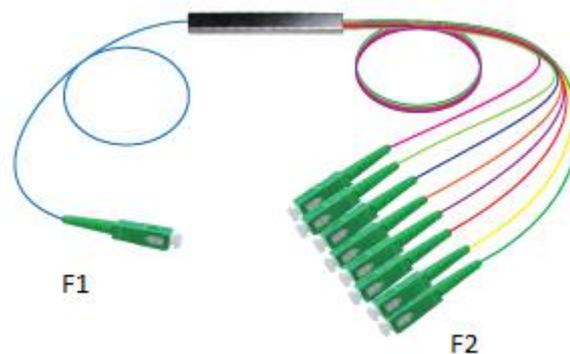
### 2.3.4 Componentes de la red óptica de distribución.

#### a) Divisores ópticos (splitters).

Los divisores ópticos son dispositivos de ramificación óptico bidireccional utilizado en redes PON punto a multipunto (P2MP), que tiene una entrada desde el puerto F1 y múltiples puertos de salida, se denomina divisor óptico o simplemente divisor (splitter, en inglés). Los divisores se consideran pasivos al no precisar de una fuente de energía externa, salvo el haz de luz incidente. Son de banda ancha y solo agregan pérdida, principalmente debido al hecho de que dividen la potencia de entrada (de forma descendente). Esta pérdida, conocida como pérdida de divisor o relación de división, se expresa normalmente en dB y depende principalmente de su número de puertos de salida. Las redes PON utilizan cada uno de los puertos de salida a F2, lo que permite que múltiples usuarios compartan una misma fibra óptica y, en consecuencia, el ancho de banda. En la dirección ascendente, las señales ópticas se combinan desde diversos ONTs en una fibra única (F1).

FIGURA N° 17

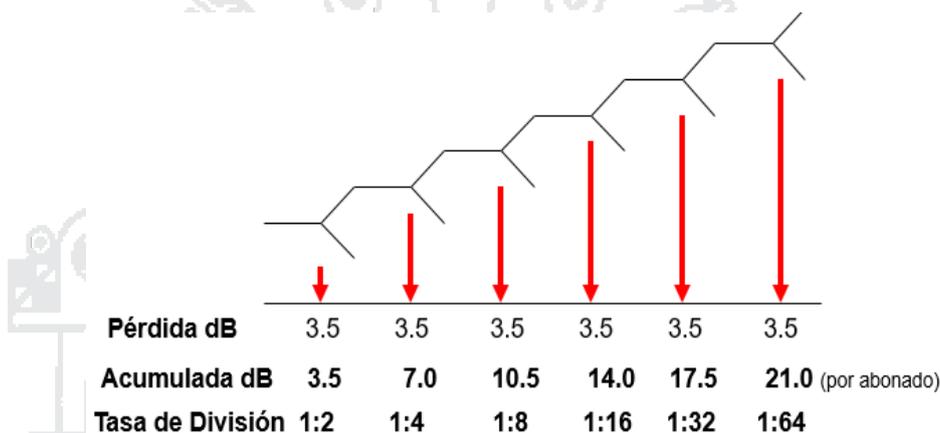
SPPLITER



Fuente: (Council, 2015).

Cabe señalar, que contrariamente a lo que cabría esperar, el divisor añade aproximadamente la misma pérdida; en ambos sentidos, incluso para la señal transmitida en dirección ascendente.

FIGURA N° 18  
VALORES DE PEDIDA PARA PRESUPUESTO ÓPTICO (VALORES CONSERVATIVOS)



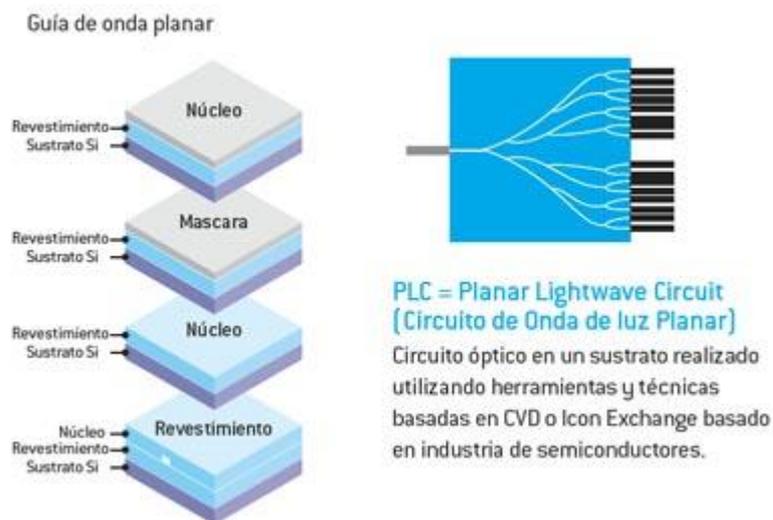
Fuente: (Council, 2015).

En una red FTTH, puede haber un divisor o varios divisores en cascada, en función de la topología. La recomendación G.984 de la ITU-T permite relaciones de división de hasta 32, mientras que la recomendación G.984.6 amplía la relación hasta 64. Independientemente de la topología, el divisor debe satisfacer el presupuesto de pérdida óptica previsto.

Los divisores pueden ser confeccionados en diferentes formas y tamaños en función de la tecnología básica utilizada. Los tipos más comunes son los de tipo encapsulado, denominados PLC (normalmente para elevadas relaciones de división) y los confeccionados mediante fusiones múltiples (FBT) (normalmente para bajos niveles de división) (Rodríguez, 2013).

FIGURA N° 19

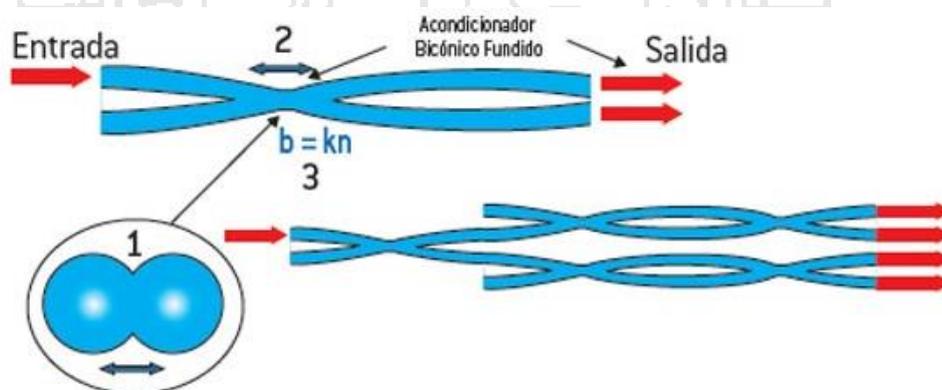
ESTRUCTURA SPPLITER PLC (GUÍA DE ONDA PLANAR)



Fuente: (Rodríguez, 2013).

FIGURA N° 20

ESTRUCTURA FBT (FUSED BICONIC TAPER)



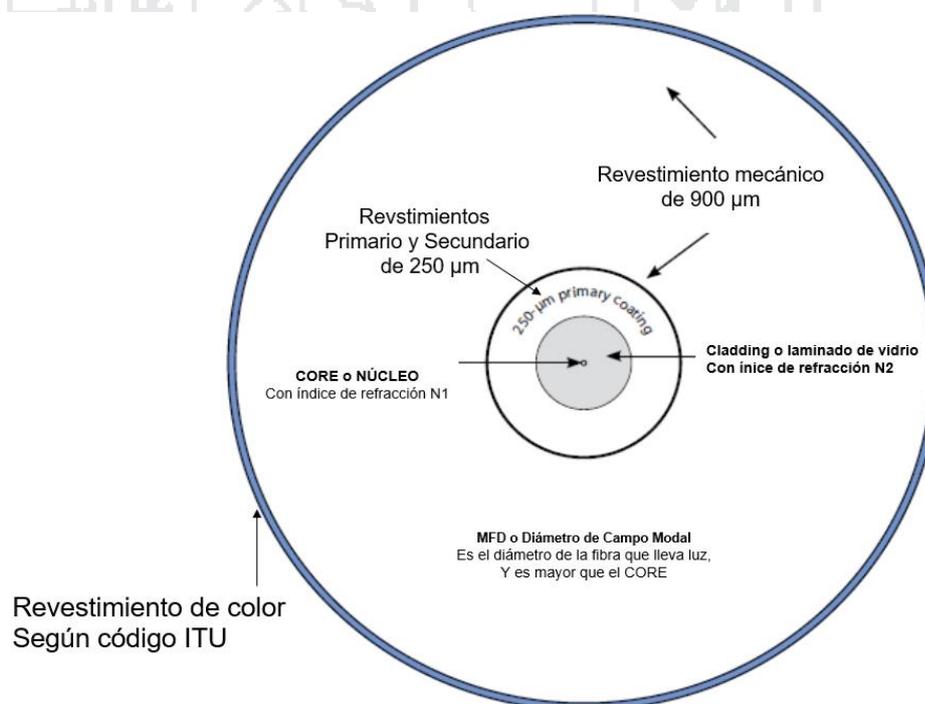
Fuente: (Rodríguez, 2013).

b) Fibra óptica.

La fibra óptica (FO) es un medio físico que transporta señales sobre la base de la transmisión de luz, para que esto ocurra, se necesita que a los extremos de ésta existan dispositivos electrónicos que de un lado envíen la información en forma de rayos de luz, y del otro lado haya un interpretador de esta información que reciba y decodifique la señal; la FO se compone

frecuentemente de filamentos de vidrio de alta pureza, muy delgados y flexibles, cuyo grosor es similar al de un cabello humano (de 2 a 125 micras). La FO es esencialmente un medio “transparente” para las radiaciones electromagnéticas situadas en la banda visible y en el infrarrojo cercano. Esto quiere decir que la atenuación que sufre la luz al circular dentro de la fibra es muy baja. Este medio de transmisión óptico se comporta como una guía de onda, lo cual permite la propagación de ondas electromagnéticas longitudinalmente. Es decir, una vez que la luz es insertada por uno de los extremos de la fibra, circula siempre en su interior reflejándose o “rebotando” contra las paredes, hasta alcanzar el extremo opuesto. El cable de Cobre es también una guía de onda pero para frecuencias menores (Hinojosa Gomez , 2007).

FIGURA N° 21  
PARTES DE LA FIBRA ÓPTICA



**Fuente:** (Council, 2015).

Aunque pueden ser construidas guías de onda ópticas a partir de diversos materiales, el Dióxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ) es generalmente el elemento constitutivo de las fibras. Este material lo conocemos en la vida cotidiana con el nombre de “vidrio”. Otro material con el que se hacen los filamentos es el plástico (polímeros artificiales). A diferencia de lo que sucede con el vidrio en la vida cotidiana, el Dióxido de Silicio se encuentra en un estado de pureza muy alto en la fibra óptica, lo que hace que la luz tenga atenuaciones mucho menores, y por lo tanto pueda recorrer distancias mucho más grandes. Alta pureza equivale a concentraciones insignificantes de otros tipos de moléculas “contaminantes”. Para tener una idea sobre la pureza que debe tener el Dióxido de Silicio en la fibra óptica, imaginemos transmitir luz a través de un vidrio de 60Km de espesor (Hinojosa Gomez , 2007).

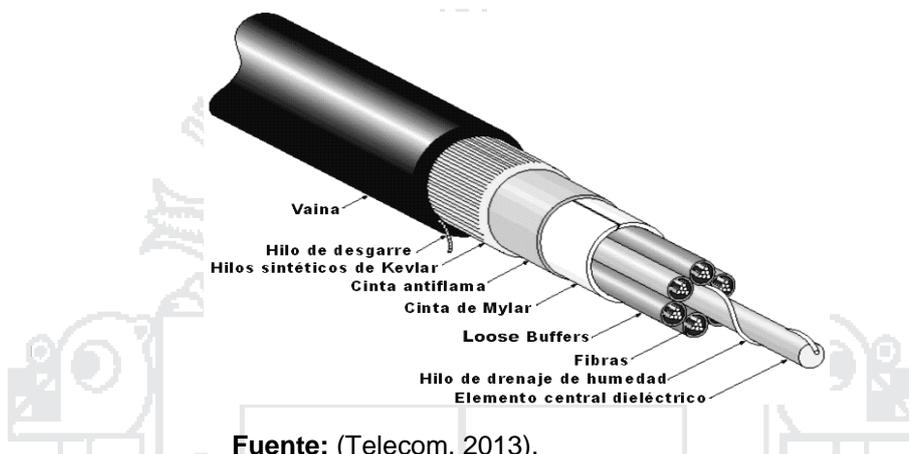
**i) Composición del cable de fibra óptica.**

El cable de fibra está formado por un núcleo rodeado por una cubierta. En la mayoría de los casos, la fibra está cubierta por un nivel intermedio que lo protege de la contaminación. Asimismo, se compone de una carcasa exterior que cubre todo el cable. Tanto el núcleo como la cubierta pueden estar hechos de cristal o de plástico, sin embargo, deben ser densidades distintas (Martínez, 2016).

Los plásticos se caracterizan por ser ligeros y económicos pero no proporcionan una fortaleza estructural ya que emiten humos cuando se queman, caso contrario, la tubería de metal es costosa pero proporciona mayor fortaleza. El teflón es ligero y se puede utilizar al aire libre, pero es costoso y no incrementa la robustez del cable. Evidentemente que la elección del material dependen de

las condiciones de instalación en sitio y las funciones que se deseen cumplir (Martínez, 2016).

FIGURA N° 22  
COMPOSICIÓN DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA



Fuente: (Telecom, 2013).

- **Elemento central dieléctrico:** este elemento central que no está disponible en todos los tipos de fibra óptica, es un filamento que no conduce la electricidad (dieléctrico), que ayuda a la consistencia del cable entre otras cosas (Telecom, 2013).
- **Hilo de drenaje de humedad:** su fin es que la humedad salga a través de él, dejando al resto de los filamentos libres de humedad.
- **Fibras:** parte más importante del cable, ya que es el medio por dónde se transmite la información. Puede ser de silicio (vidrio) o plástico muy procesado. Aquí se producen los fenómenos físicos de reflexión y refracción. La pureza de este material es lo que marca la diferencia para saber si es buena para transmitir o no. Una simple impureza puede desviar el haz de luz, haciendo que este se pierda o no llegue a destino. En cuanto al proceso de fabricación es muy interesante y hay muchos vídeos y material en la red, pero básicamente las hebras (micrones de ancho) se

obtienen al exponer tubos de vidrio al calor extremo y por medio del goteo que se producen al derretirse, se obtienen cada una de ellas. según (Telecom, 2013)

- **Loose Buffers:** es un pequeño tubo que recubre la fibra y a veces contiene un gel que sirve para el mismo fin haciendo también de capa oscura para que los rayos de luz no se dispersen hacia afuera de la fibra.
- **Cinta de Mylar:** es una capa de poliéster fina que hace muchos años se usaba para transmitir programas a pc, pero en este caso sólo cumple el rol de aislante.
- **Cinta antinflama:** es un cobertor que sirve para proteger al cable del calor.
- **Hilos sintéticos de Kevlar:** estos hilos ayudan mucho a la consistencia y protección del cable, teniendo en cuenta que el Kevlar es un muy buen ignífugo, además de soportar el estiramiento de sus hilos. (Telecom, 2013).
- **Hilo de degarre:** son hilos que ayudan a la consistencia del cable.
- **Vaina:** la capa superior del cable que provee aislamiento y consistencia al conjunto que tiene en su interior.

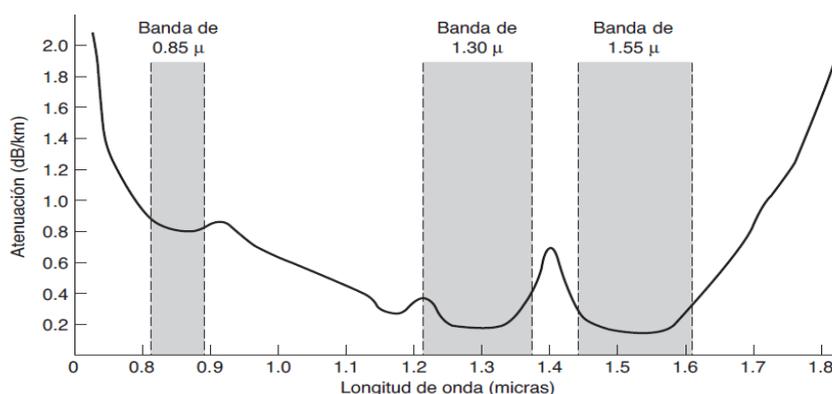
## ii) Transmisión de luz a través de fibra óptica.

Las fibras ópticas están hechas de vidrio, que a su vez se fabrica a partir de la arena, una materia prima de bajo costo disponible en cantidades ilimitadas. La fabricación del vidrio era conocida por los antiguos egipcios, pero su vidrio no podía ser mayor de 1 mm de grosor para que la luz pudiera atravesarlo. Durante

el Renacimiento se desarrolló un vidrio lo bastante transparente como para usarlo en las ventanas. El vidrio utilizado para las fibras ópticas modernas es tan transparente que si los océanos estuvieran llenos de él en vez de agua, el lecho marino sería tan visible desde la superficie como lo es el suelo desde un avión en un día claro (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

La atenuación de la luz que pasa por el vidrio depende de la longitud de onda de la luz (así como de algunas propiedades físicas del vidrio). Se define como la relación entre la potencia de la señal de entrada y la de salida. Para el tipo de vidrio que se utiliza en las fibras ópticas, la atenuación se muestra en la siguiente figura en unidades de decibeles por kilómetro lineal de fibra. Por ejemplo, un factor de pérdida de potencia de la señal de dos nos da una atenuación de  $10\log_{10}2 = 3\text{dB}$ . La figura muestra la parte cercana al infrarrojo del espectro, que es lo que se utiliza en la práctica. La luz visible tiene longitudes de onda ligeramente más cortas, de 0.4 a 0.7 micras (1 micra equivale a 1026 metros). El verdadero purista métrico se referiría a estas longitudes como de 400 nm a 700 nm, pero nos apegaremos al uso tradicional (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

FIGURA N° 23  
ATENUACIÓN DE LA LUZ DENTRO DE UNA FIBRA EN LA REGIÓN DE INFRARROJO



Fuente: (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

### iii) Tipos de fibra óptica.

Las fibras ópticas se clasifican de acuerdo al modo de propagación que dentro de ellas describen los rayos de luz emitidos. En ésta clasificación existen tres tipos:

- Modo único o monomodo.
- Multimodo de índice gradual.
- Multimodo de índice escalonado.

Para poder obtener los índices de refracción distintos entre el revestimiento y el núcleo de la fibra tales que satisfagan las condiciones de guía de luz se agrega impurezas al Silicio, tales como el Flúor, óxido de Fósforo y el óxido de Germanio que aumentan el índice de refracción. La fibra tipo modo único que es la que menores pérdidas presenta, se han logrado con Silicio puro en el núcleo y con el revestimiento dopado de Flúor, asegurando un rebote sin pérdida.

#### **Modo único o monomodo.**

Estas fibras están caracterizadas por contener un núcleo de pequeñísimo diámetro, pequeña NA (apertura numérica), baja atenuación y gran ancho de banda. Tiene una banda de paso del orden de los 100 GHz/Km. Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar, construir y manipular. La figura 23 muestra que sólo pueden ser transmitidos los rayos que tienen una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se ha ganado el nombre de "monomodo" (modo de propagación, o camino del haz luminoso, único) (Hinojosa Gomez , 2007).

La transmisión de luz es lineal, tiene trayectoria recta, por eso; ha ganado el nombre de monomodo, estas fibras tienen el núcleo del diámetro del mismo orden de las señales ópticas que se están transmitiendo como de 5 a 8  $\mu\text{m}$ . Su propagación es de larga distancia alrededor de unos 300 km, existen clases de fibras monomodo:

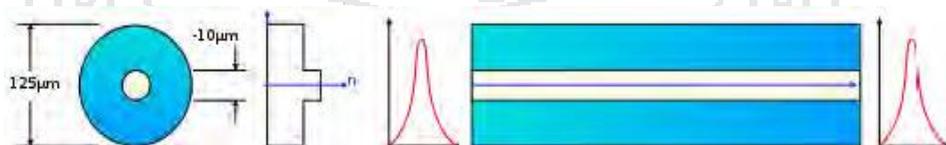
- **10 GBASE-LR.**

Este estándar es de rango largo permite superar los 10 km empleando ondas de 1310nm (López Polo, 2016).

- **10 BASE-ER.**

Este estándar es de rango extenso y supera los 40 km y se emplea en los 1550nm. Las fibras monomodo se utilizan con mayor frecuencia en la investigación científica de alta precisión debido a que la luz se propague (López Polo, 2016).

FIGURA N° 24  
TRANSMISIÓN FIBRA MONOMODO



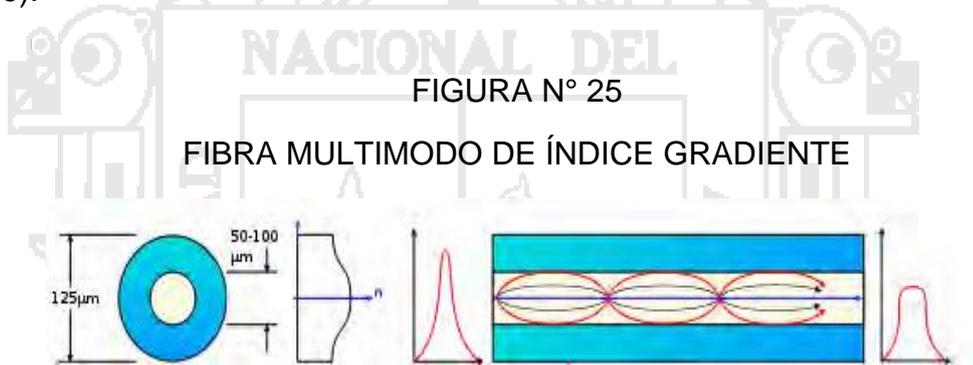
Fuente: (López Polo, 2016).

El requerimiento básico para tener una fibra mono modo es que el núcleo sea lo suficientemente pequeño para restringir la comunicación a un solo modo. Este modo de orden menor puede propagarse en toda la fibra con núcleo pequeño. Desde que una transmisión en modo único evita la dispersión modal, el ruido modal, y otros efectos típicos de una transmisión multimodo, esta fibra

puede transmitir señales a mayor velocidad y es la que se ha adoptado como estándar en las telecomunicaciones. (Hinojosa Gomez , 2007).

### Fibra multimodo de índice gradual.

Las fibras multimodo con índice gradual gradiente se basa en que el índice de refracción en el interior no es el único en el núcleo, estas fibras permiten reducir la dispersión entre todos los diferentes modos de propagación que están en el núcleo de la fibra, existen 3 clases de fibra de índice gradual (López Polo, 2016).



Fuente: (López Polo, 2016).

Éste tipo de fibra consiste de un núcleo cuyo índice de refracción varía con la distancia a lo largo del eje con el objetivo de disminuir los efectos de la dispersión modal. Al igual que la fibra de índice escalonado, el núcleo está rodeado por el vidrio del cladding ó revestimiento de menor índice refractivo. Las fibras de índice gradual ofrecen una buena aceptación de luz y ancho de banda, mejor de las ofrecidas por las fibras de índice escalonado. Otras características ofrecidas son: (Hinojosa Gomez , 2007).

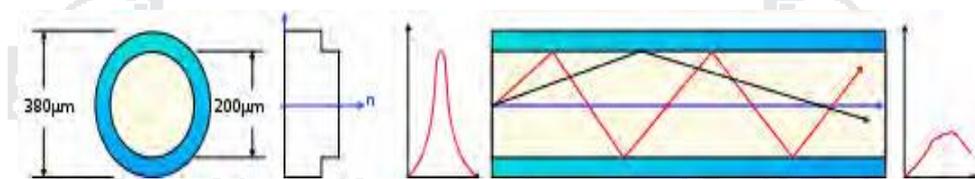
- Diámetro del núcleo moderado.
- Bajo NA.
- Atenuación moderada.

### Fibra multimodo de índice escalonado (step index optical fibre).

Las fibras Multimodo de índice escalonado se basan en vidrio, con una atenuación de 30 dB/km, o plástico, con una atenuación de 100 dB/km. En estas fibras su núcleo es de un material uniforme cuyo índice de refracción es superior al de la cubierta que lo rodea. El paso desde el núcleo hasta la cubierta conlleva por tanto una variación del índice. (López Polo, 2016).

FIGURA N° 26

#### FIBRA MULTIMODO DE ÍNDICE ESCALONADO



Fuente: (López Polo, 2016).

El número máximo de modos de luz (camino para los rayos de luz) que pueden existir en el núcleo de una fibra depende de su apertura numérica, de su diámetro y de la longitud de onda de la luz. Ésta propiedad de la luz relacionada con el hecho que la propagación de la potencia óptica en las fibras ópticas se puede dar en muchos modos, debe considerarse como una desventaja debido a que se generen muchas trazas y consecuentemente distintos tiempos de tránsito (Fenómeno Fading). La luz de un emisor es distribuida uniformemente en el cono de aceptación de la fibra y la potencia óptica del pulso de entrada es distribuida uniformemente en todos los modos. Debido a que cada modo tiene un tiempo diferente de propagación (porque recorrerán distintas distancias), se producirá el efecto siguiente: Distorsión del pulso y se tendrá un ancho de banda limitado. A éste fenómeno se le llama la distorsión multimodo. La distorsión multimodo recibe también el nombre de dispersión modal y la relación entre los tiempos de

recorridos mínimos y máximos es directamente proporcional a la relación entre los índices de refracción del recubrimiento y del núcleo que es del orden del 1%. (Hinojosa Gomez , 2007).

**c) Conectores de fibra óptica.**

En la actualidad existen una gran variedad de conectores usados para la terminación y comunicaciones de la fibra óptica. Pero describiremos los más populares en el mercado. Entre ellos tenemos:

**i) Conector ST (*Straight Tip* ó *Punta Recta*).**

Es probablemente el conector más popular para las redes multimodo. Tiene una montadura de bayoneta y una férula larga y cilíndrica de 2.5 mm usualmente de cerámica o polímero para sostener a la fibra. Las férulas son de cerámica, pero en algún caso pueden ser de metal o plástico, se debe asegurar que se insertan adecuadamente. Si tiene pérdidas altas, vuelva a conectarlos para ver si se tiene una mejor conexión y menor pérdida. Los conectores ST/SC/FC/FDDI/ESCON tienen el mismo diámetro de la férula de – 2.5 mm. O aproximadamente 0.1 de pulgada –por lo que pueden ser mezclados y acoplados utilizando adaptadores de acoplamiento híbridos(Silex Global, Spain S.L., 2016).

Esto permite realizar pruebas en forma muy conveniente y sencilla, debido a que se puede tener un solo juego de cables de referencia multimodo con conectores ST o SC y los adaptadores para todos estos conectores.

FIGURA N° 27  
CONECTOR ST



Fuente: (Silex Global, Spain S.L., 2016).

ii) **SC (Subscriber Connector or “Square Connector” ó Conector de Suscriptor).**

Conector de broche, también con una férula de 2.5 mm. Que es ampliamente utilizado por su excelente desempeño. Fue el conector estandarizado en TIA-568-A, pero no fue utilizado ampliamente en un principio porque tenía un costo del doble de un ST. En la actualidad es solo un poco más costoso y más común, ya que se conecta con un movimiento simple de inserción que atora el conector. Existe también la configuración dúplex.

FIGURA N° 28  
CONECTOR SC



Fuente: (Silex Global, Spain S.L., 2016).

iii) **LC (Lucent Connector or “Little Connector” ó Conector pequeño).**

El conector LC es un conector con factor de forma pequeña que utiliza una férula de 1.25 mm., de la mitad del tamaño que el SC.

Es un conector que utiliza en forma estándar una férula cerámica, de fácil terminación con cualquier adhesivo. De buen desempeño, altamente favorecido para uso monomodo.

Los conectores LC, MU y LX-5 usan la misma férula pero los adaptadores para interconectarlos no son fáciles de encontrar.

FIGURA N° 29  
CONECTOR LC



Fuente: (Silex Global, Spain S.L., 2016).

iv) **FC (*Ferule Connector* ó Conector Férula).**

El conector FC fue uno de los conectores monomodo más populares durante muchos años.

También utiliza una férula de 2.5 mm., pero algunos de los primeros utilizaban cerámica dentro de las férulas de acero inoxidable.

Se atornilla firmemente, pero debe asegurarse que tienen la guía alineada adecuadamente en la ranura antes de apretarlo. Está siendo reemplazado por los SCs y los LCs.

FIGURA N° 30  
CONECTOR FC



Fuente: (Silex Global, Spain S.L., 2016).

d) **Tipos de empalmes de fibra óptica.**

i) **Empalmes mecánicos y adhesivos.**

El empalme mecánico es un accesorio para alinear y conectar 2 fibra ópticas. Los empalmes mecánicos sostienen las dos fibras ópticas alineadas por un periodo de tiempo indefinido sin alteración alguna. La pérdida del empalme es estable en el tiempo e inalterada por los cambios de condiciones ambientales o mecánicas. En caso de variación y aumento de pérdida, el empalme puede ser abierto de nuevo y las fibras ser realineado. La realineación incluye limpieza del extremo de la fibra, nuevo corte y inserción de la misma en el mismo o nuevo empalme. Dentro de su uso previsto, una vez realizado un empalme mecánico, este puede convertirse en permanente ya que es ambientalmente y mecánicamente estable (Prouct, 2016).

FIGURA N° 31  
MUESTRA DE EMPALME MECÁNICO



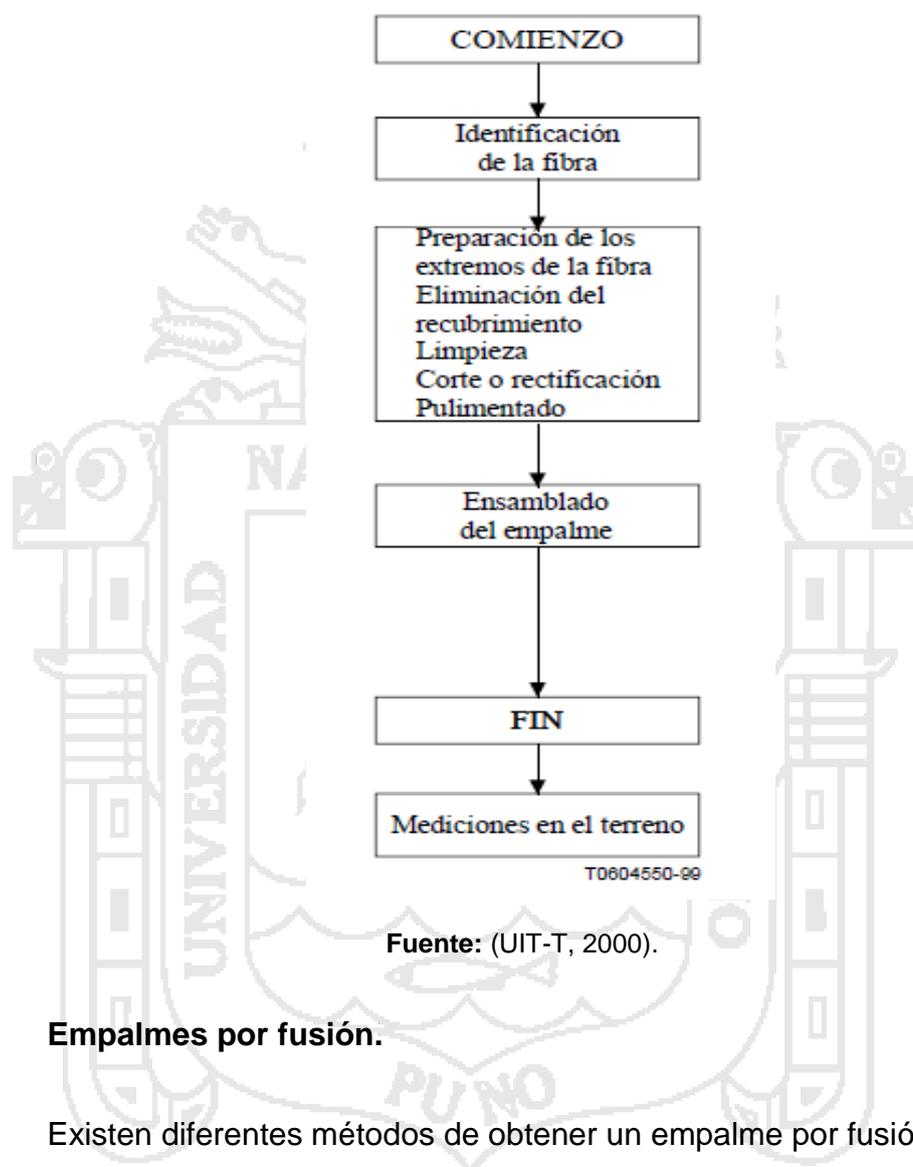
Fuente: (Council, 2015).

Generalmente suelen emplearse materiales de adaptación entre las fibras en ambos métodos (mecánicos y adhesivos) para reducir las pérdidas del empalme y las reflexiones. Aunque las pérdidas del empalme no son sensibles al índice de refracción, la reflexión sí que resulta muy sensible. Por lo tanto, se necesita una adaptación de índices muy precisa para suprimir las reflexiones.

Cuando se requiere muy baja reflexión, también debe tenerse en cuenta la variación con la temperatura del índice de refracción del material de adaptación. Algunos ejemplos de materiales de adaptación serían el gel y resina de Silicio, adhesivos fotosensibles o resinas de epoxy. En el método de empalme basado en adhesivo se prefiere que éste sirva simultáneamente como material de unión y de adaptación. Una unión mecánica utiliza una fuerza mecánica para mantener el alineamiento de las fibras, por lo que existe la posibilidad de volver a conectarse. No obstante, resulta generalmente bastante difícil en comparación con un conector óptico. Por otra parte, una unión adhesiva utiliza un material adhesivo para cumplir la función de mantener alineadas las fibras (Hinojosa Gomez , 2007).

FIGURA N° 32

## REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCEDIMIENTO DE EMPALME MECÁNICO

ii) **Empalmes por fusión.**

Existen diferentes métodos de obtener un empalme por fusión de fibras o cintas de fibras. En la actualidad, la fusión por arco eléctrico es el método más utilizado para hacer en el terreno empalmes fiables de fibras ópticas ya sean simples o en masa. El proceso de fusión se lleva a cabo utilizando máquinas empalmadoras construidas de manera específica en las que la reproducibilidad y sencillez de la operación ha mejorado de manera continua durante la última década.

FIGURA N° 33

## MUESTRA DE EMPALME POR FUSIÓN



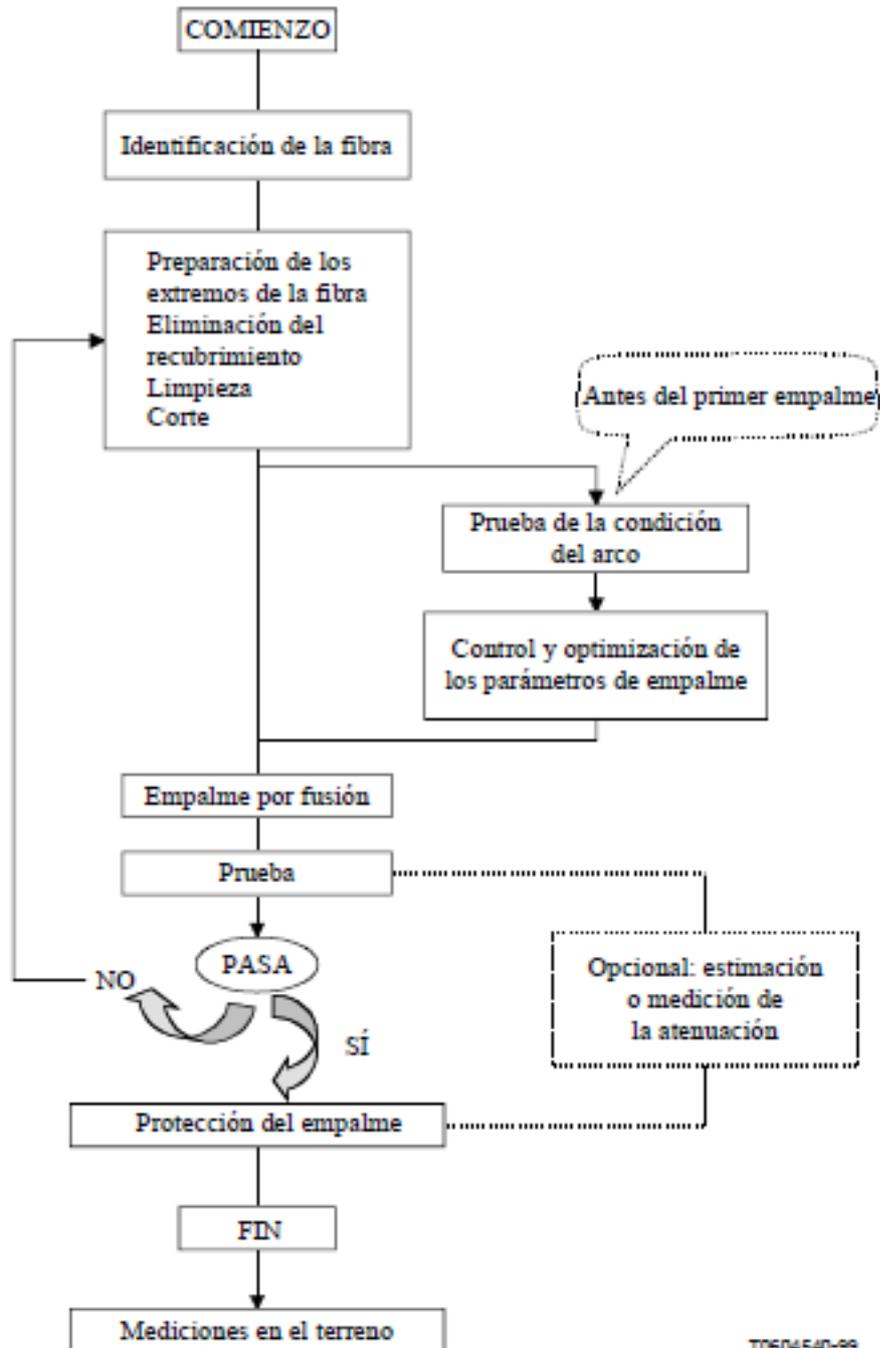
Fuente: (Council, 2015).

Para hacer un empalme por fusión, se retiran todos los recubrimientos de las fibras, que se cortan y a continuación se posicionan y alinean entre dos electrodos en la máquina de empalmar. Un arco eléctrico calienta el vidrio de sílice hasta que se alcanza el punto de "fusión" o ablandamiento y al mismo tiempo se juntan las fibras longitudinalmente de tal manera que se obtenga un empalme con continuidad geométrica. Este proceso genera un filamento de vidrio continuo. La alineación de las fibras en estas máquinas puede ser pasiva (alineación en ranuras en V) o activa (inyección de luz y sistema de detección o supervisión del perfil del núcleo/revestimiento y sistema de alineación). A continuación, se aplica al empalme un dispositivo de protección adecuado para proteger la fibra desnuda y facilitar su manipulación y almacenamiento sin afectar adversamente a la integridad física del empalme. La calidad del corte y la intensidad y duración del arco eléctrico, así como las diferencias entre las dos fibras que se han de empalmar, determinan la pérdida del empalme. Además, el esmero con que se lleve a cabo la eliminación de los recubrimientos, el corte de

la fibra y la protección del empalme contribuyen a la fiabilidad mecánica a largo plazo en el terreno (UIT-T, 2000).

FIGURA N° 34

REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCEDIMIENTO DE EMPALME POR FUSIÓN



Fuente: (UIT-T, 2000).

T0604540-99

### iii) Protección del empalme.

Generalmente la cubierta de las fibras se elimina previamente a la realización del empalme. Durante el proceso consistente en eliminar las cubiertas, cortar las fibras y situarlas en la máquina empalmadora, e incluso en el proceso de calentamiento, se producen grietas en las fibras que debilitan su resistencia. La resistencia de las fibras tras realizar un empalme se reduce en un 10% aproximadamente, por lo que se hace necesaria la posterior protección de la zona tratada. A la hora de seleccionar un método de protección se deben considerar factores tales como: fiabilidad (variación de las pérdidas de empalme y rotura), facilidad de manejo y coste. Cuando el método de protección o su diseño no es bueno, las pérdidas del empalme sufren gran variación con la temperatura. Si por el contrario se realiza de forma adecuada, las pérdidas varían tan sólo 0,02 dB para rangos de temperatura desde -30 °C hasta +60 °C. De entre los distintos métodos de protección utilizados destacan: una ranura con forma de V (V-groove) de plástico con cubierta, un par de láminas de cristal cerámico, un tubo que se contrae con el calor junto con una varilla de acero o un molde de plástico. Finalmente, para la sujeción se utilizan como adhesivos una reacción química, la fundición del material o resinas fotosensibles. Las mangas termocontráctiles son las más comúnmente utilizadas en los empalmes por fusión (Hinojosa Gomez , 2007).

FIGURA N° 35  
MANGA DE EMPALME



Fuente: (Council, 2015).

**e) Cajas de empalmes.**

Los empalmes exteriores se protegen dentro de una caja de empalme, la cual posee en un extremo unos tubos cerrados que se cortarán en su extremo por donde deba pasar un cable, para luego sellarse con termo contraíbles. La caja posee una tapa o domo que se cierra sobre la base con una abrazadera. Sobre el domo se encuentra la válvula de presurización. En la base se encuentran las borneras para sujetar los elementos de tracción de los cables y la puesta a tierra que también asoma al exterior de la caja. También están las bandejas donde se sitúan la reserva de FO desnuda y los empalmes. Del otro lado de las bandejas hay espacio para situar la reserva (ganancia) de buffers aunque puede existir una bandeja para tal fin (Hinojosa Gomez , 2007).

FIGURA N° 36

## CAJAS DE EMPALME



Fuente: (Schnitzler, 2016).

f) **Distribuidores para centrales (ODF- Optical Distribution Frame).**

En cada extremo de un enlace de FO se encuentran los distribuidores en donde se empalma cada fibra a un cable de una fibra conectorizado, denominado PIGTAIL. Estos están numerados y se conectan a uno de los extremos de un acoplador fijado al gabinete, a donde luego se conectarán los jumpers de los equipos de transmisión o de los medidores. Poseen tapas atornilladas para tapar los conectores y además unos cassettes o bandejas donde residen los empalmes y la reserva. Tienen además borneras de sujeción para los elementos de tracción del cable o boquillas cónicas para sujetarlo. Van atornillados en rieles arriba y abajo en el "vertical", o en un rack. (Hinojosa Gomez , 2007).

FIGURA N° 37

## ODF 24 HILOS



Fuente: (Council, 2015).

**g) Roseta óptica de abonado.**

La roseta de abonado para fibra óptica es el punto terminal óptico que permite hacer la terminación y el acondicionamiento del cable óptico de acometida que accede al domicilio del cliente.

FIGURA N° 38  
ROSETA ÓPTICA ABONADO



Fuente: (Council, 2015).

**h) Cajas de distribución.**

Las cajas de distribución son elementos que contienen los accesorios como splitter, adaptadores, conectores que serán usados como punto de distribución para conectar los usuarios finales.

FIGURA N° 39  
CAJA DE DISTRIBUCIÓN



Fuente: (Council, 2015).

**i) Jumper (patchcord).**

Un jumper de fibra óptica (patchcord) es un cable de fibra óptica de corta longitud (usualmente entre 1 y 30 mts) para uso interior con conectores instalados en sus dos extremos, usualmente en presentación simplex (una sola fibra) o duplex (2 fibras) aunque pueden presentarse arreglos multifibra. Los cordones de fibra pueden interconectar directamente dos equipos activos, conectar un equipo activo a una caja pasiva (ODF) o interconectar dos cajas pasivas conformando en este caso un sistema administrable de cableado (Cross Connect). En este último caso, patch cords son conectados entre el equipo activo y el ODF en su porción interna, y patch cords frontales ODF a ODF, permitiendo una administración de puertos del equipo activo simplemente cambiando patch cords de posición.

FIGURA N° 40  
JUMPER SC/UPC DUPLEX



Fuente: (Council, 2015).

**j) Pigtail.**

Un cable pigtail de fibra óptica está formado por un cable corto de fibra. Un conector en uno de los extremos que sirve de interfaz con los equipos y fibra

descubierta en el otro extremo para ser empalmado a la fibra del cable principal. En el extremo descubierto del cable pigtail se pela el revestimiento de color (Coating) y es fusionado o empalmado a una fibra o a una multifibra troncal. Un empalme de pigtail "abre" el cable principal multifibra para la conexión con el equipamiento final. Los conectores pueden ser hembras o macho. Los conectores hembra pueden ser montados en el patch panel, generalmente de a pares, aunque también hay soluciones de una sola fibra, para permitir que se conecten los puntos de terminación o a otra fibra. O de modo alternativo también pueden ser conectores machos y conectarse directamente dentro del módulo óptico de fibra óptica (como por ejemplo un SFP).

FIGURA N° 41  
PIGTAIL SC/APC



Fuente: (Council, 2015).

**k) Adaptador.**

Un adaptador de fibra óptica es un dispositivo que se utiliza para conectar cables de fibra óptica. Estos adaptadores son de diferentes formas, sin embargo, tienen el mismo propósito. Un adaptador de fibra óptica permite a los cables de este mismo material unirse entre sí individualmente o en una red de gran tamaño, lo que permite que muchos dispositivos puedan comunicarse a la vez. El uso más común de los adaptadores de fibra óptica es conectar dos cables entre sí.

La conexión de los dos cables permite que dos dispositivos se comuniquen a distancia a través de una conexión directa con la línea de fibra óptica. Por lo general, estos tipos de adaptadores se denominan como sleeves de acople o mangas de acoplamiento ya que permiten conectar dos cables entre sí. Algunas de estos conectores línea a línea también se fabrican para conectar tres o cuatro cables. Existen varias formas diferentes de adaptadores que se encuentran disponibles, esto depende del tipo de cables que se conectan. Si todos los cables de conexión son de la misma forma, se pueden usar con entradas cuadradas, rectangulares o redondas. Estos adaptadores se componen de dos o más conexiones hembras a las que se pueden conectar los cables de fibra óptica. Al intentar conectar dos cables de diferentes formas, es necesario usar un tipo de adaptador de fibra óptica llamado conector híbrido.

FIGURA N° 42

## ADAPTADORES PARA DIFERENTES CONECTORES



Fuente: (Council, 2015).

### 2.3.5 Estándares de la tecnología FTTH.

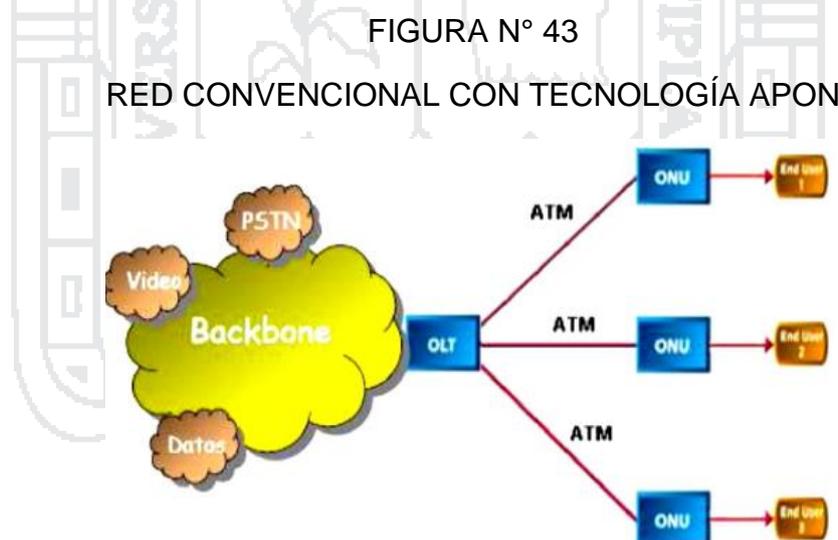
Las redes ópticas pasivas proporcionan una transmisión muy segura y libre de errores, con una alta capacidad de transferencia, que con el paso del

tiempo ha ido evolucionando en estándares las cuales son APON, BPON, GPON y EPON.

**a) APON (ATM (Modo de Transferencia Asíncrona) PON).**

Fue la primera red que definió la FSAN (Especificaciones para el acceso de banda ancha), la red APON típica es la que utiliza accesos VDSL, donde la ONU está a pocos metros del cliente.

APON basa su transmisión en canal descendente en ráfagas de celdas ATM (Modo de transferencia asíncrona) con una tasa máxima de 155 Mbps que se reparte entre el número de ONUs que estén conectadas en canal ascendente. Su inconveniente inicial era la limitación de los 155 Mbps que más adelante se aumentó hasta los 622 Mbps.



Fuente: (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

**b) BPON (Broadband PON - Red Óptica Pasiva de Banda Ancha).**

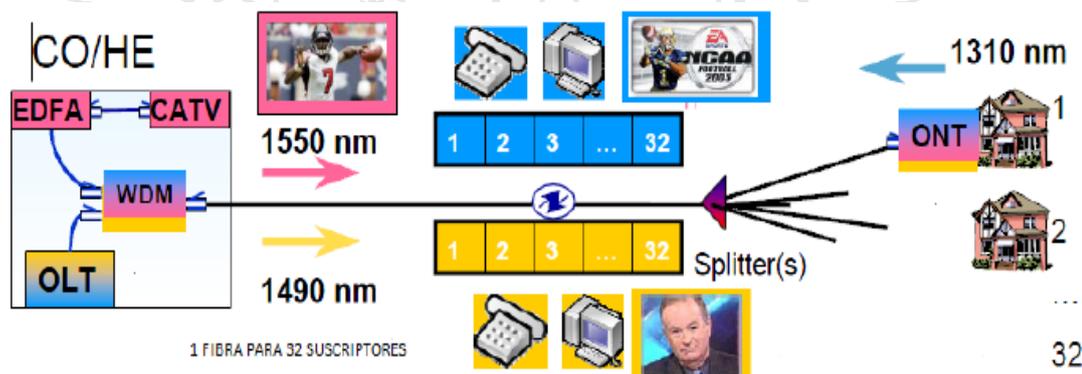
Se basan en las redes APON, se refiere a una red para el soporte de servicios que requieran una anchura de banda superior a la correspondiente a la velocidad binaria básica de la RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), que

incluiría servicios de vídeo y de distribución, pero con la diferencia que pueden dar soporte a otros estándares de banda ancha, en los que se incluye: Ethernet, distribución de video, VPL (Líneas Privadas Virtuales, Virtual Private Line), etc.

Originalmente estaba definida con una tasa de 155 Mbps fijos tanto en canal ascendente como descendente; pero, más adelante, se modificó para admitir

- Tráfico asimétrico: Canal descendente 622 Mbps.
- Canal ascendente 155 Mbps.
- Tráfico simétrico: Canal descendente y ascendente 622 Mbps.

FIGURA N° 44  
RED CONVENCIONAL CON TECNOLOGÍA BPON



Fuente: (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

**c) EPON (Ethernet Passive Optical Network).**

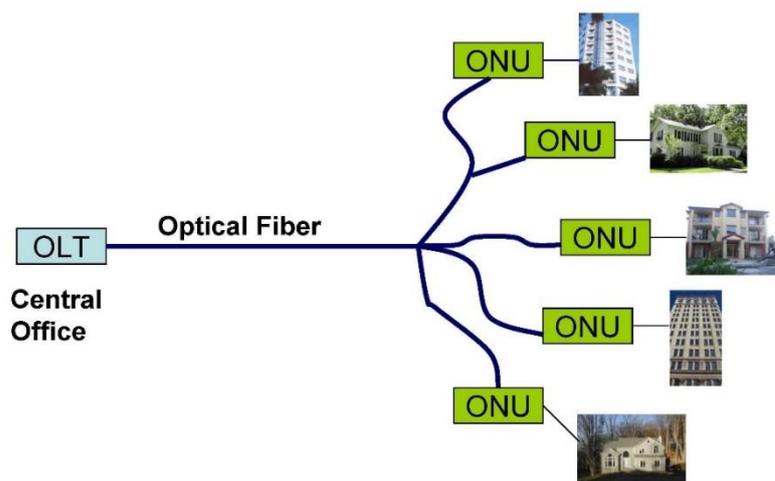
La tecnología EPON se crea basándose en la evolución de las redes LAN de Ethernet a Fast Ethernet o Gigabit Ethernet. Sigue la especificación 802.3 y se basa en el transporte de tráfico Ethernet. La IEEE diseñó el estándar EPON para aplicarlo a las características de la fibra óptica a través de red Ethernet.

Las principales características que ofrece son:

- Posibilidad de trabajar de forma directa a velocidades Gbit.
- Se elimina la conversión ATM/IP en la conexión WAN-LAN.
- Disminuye la complejidad de los equipos y su costo al simplificar la arquitectura.
- Tiene una mayor eficiencia en el transporte de tráfico basado en IP.

FIGURA N° 45

ARQUITECTURA RED EPON



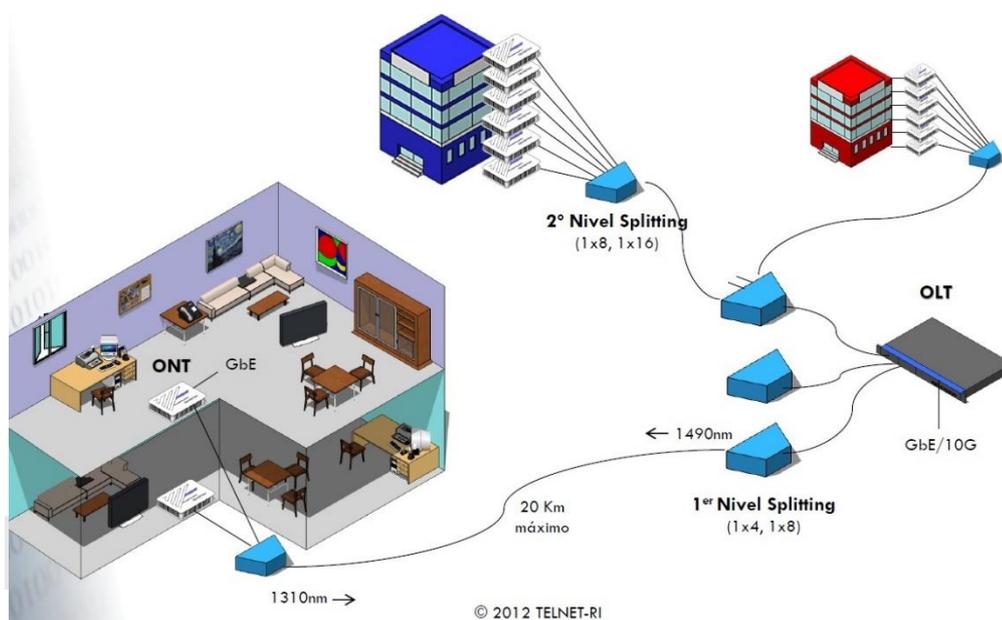
Fuente: (Gonzales Barreto & Barragan C., 2016).

### 2.3.6 Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabit (GPON).

Definido como una innovación del conjunto de estándares PON, la Red Óptica Pasiva con capacidad de Gigabit, GPON (Figura 2), es miembro de esta familia desde el 2004 con la creación de las recomendaciones ITU-T G.984.X (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

FIGURA N° 46

## ESTRUCTURA DE UN SISTEMA GPON



Fuente: (Fernandez, 2016).

El estándar que se expone, permite manejar amplios márgenes de ancho de banda, para prestar servicios a nivel comercial y residencial, mejorando sus prestaciones en el transporte de servicios IP y con una nueva capa de transporte diferente, el envío de la señal en forma ascendente y descendente con rangos de 1.25Gbps y 2.5Gbps para el primer caso y de 2.5Gbps para el segundo ya sea de forma simétrica o asimétrica llegando bajo ciertas configuraciones a entregar hasta 100Mbps por usuario. Entre las principales diferencias que se presentan sobre sus antecesores, están (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

- Soporte completo para voz (TDM Multiplexación por División de Tiempo, SONET y SDH, Ethernet (10/100 Base T), ATM.
- Alcance nominal de 20Km con un presupuesto de 60Km dentro de las recomendaciones establecidas.

- Soporte de varias velocidades, las indicadas para APON/BPON y EPON.
  - Alto nivel de funciones de Operación, Administración, Mantenimiento y Suministro OAM&P (Operation, Administration, Maintenance and Provisioning), de principio a fin en el manejo de los servicios.
  - Seguridad en el tráfico debido a la operación en modo de radiodifusión para la transmisión en modo descendente heredado del estándar PON.
  - Con lo anotado, el proveedor se ve poco afectado en lo que respecta a cambios de equipos de los clientes, ya que se pueden seguir ofreciendo los mismos servicios típicos sobre los elementos instalados si fuese el caso, pero con mayor eficiencia.
- a. Tecnologías y Protocolos Utilizados en el estándar GPON.**
- i. DBA Dynamic Bandwidth Allocation.**

La Asignación Dinámica de Ancho de Banda (DBA), es una técnica por la cual el ancho de banda de un medio de comunicación compartido puede ser asignado de forma adecuada y dependiendo de la necesidad entre diferentes usuarios. Es una forma de manejo de ancho de banda y es básicamente igual a la multiplexación estática, donde la compartición de un enlace se adapta de alguna forma para la demanda del tráfico instantáneo de los nodos conectados a dicho enlace (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

Su funcionalidad rescata algunas de las opciones de redes compartidas cuando varios usuarios pertenecientes a una red no se hallen conectados, aquellos que si lo están se benefician con una mayor capacidad para la

transmisión de datos, dando cabida a esa información en los intervalos no utilizados del ancho de banda (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

**ii. ATM, Modo de Transferencia Asíncrona.**

Es una tecnología de transmisión de datos digital, implementado como un protocolo de red por conmutación de paquetes de tamaño fijo, con la ventaja sobre IP o Ethernet en el aprovechamiento de las cualidades de la conmutación de circuitos y de paquetes para la transmisión en tiempo real de la información, en un modelo de conexión orientada con el establecimiento de un circuito virtual entre los puntos de enlace previo al intercambio de datos. (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012)

Se considera a este protocolo, como base de funcionamiento en tecnologías como SONET y SDH en la estructura central (backbone) de la red pública conmutada de telefonía PSTN.

**iii. GEM Método de Encapsulación GPON.**

En la dirección de salida en un nodo, las tramas son colocadas juntas en una partición GEM, una cabecera es preparada e incluida para ser enviada a través el medio. Con esto, el método de encapsulación GPON permite transportar cualquier tipo de celda ya sea Ethernet, TDM o ATM.

Se trata de la innovación en el protocolo de encriptación definido por la ITU-T G.984.3, el mismo que resulta una evolución del protocolo de entramado genérico GFP, que define las maneras de encapsular la información de longitud variable de diversas señales, para transportarlas por redes SDH (Jerarquía Digital Síncrona). El método de encapsulación que emplea GPON permite

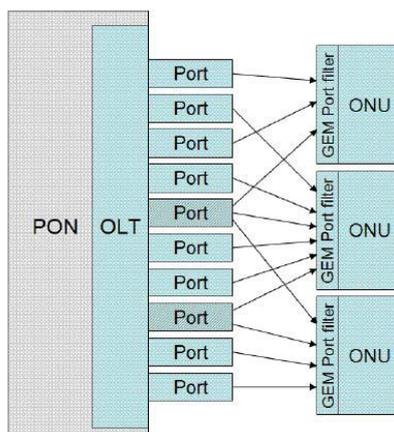
soportar cualquier tipo de servicio (Ethernet, TDM, ATM) por lo que es un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de 125 ms. Al ser una adaptación de GFP, con modificaciones menores para optimizarla para las tecnologías PON de manera que no solo ofrece mayor ancho de banda, sino también más eficiencia y la posibilidad de permitir a las redes continuar ofreciendo sus servicios tradicionales sin tener que cambiar los equipos instalados en las dependencias de sus clientes (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

En la recomendación ITU-T G.984.3, se define a este método de encapsulación como un esquema de transporte con mecanismo de tramas de longitud variable para transportar servicios sobre redes PON.

El protocolo de convergencia de transmisión soporta tanto encapsulación GEM, para las tramas, como ATM, para el transporte de celdas, aunque esta última en las recomendaciones más recientes no es necesaria para ningún servicio de interés, por lo que deprecia el uso de ATM en el transporte. En el sentido descendente la multiplexación del tráfico funcional es centralizada. La OLT multiplexa las tramas GEM hacia el medio de transmisión usando GEM Port-ID o identificación de puerto GEM (parte del protocolo de encapsulación) para identificar las tramas GEM que pertenecen a las diferentes conexiones lógicas de bajada. Cada ONU filtra y procesa las tramas que pertenecen únicamente a esta (Tinoco Alvear, 2011).

FIGURA N° 47

MULTIPLICACIÓN DE BAJADA (PARTE SOMBREADADA INDICA EL MULTICAS REALIZADO POR GEM)



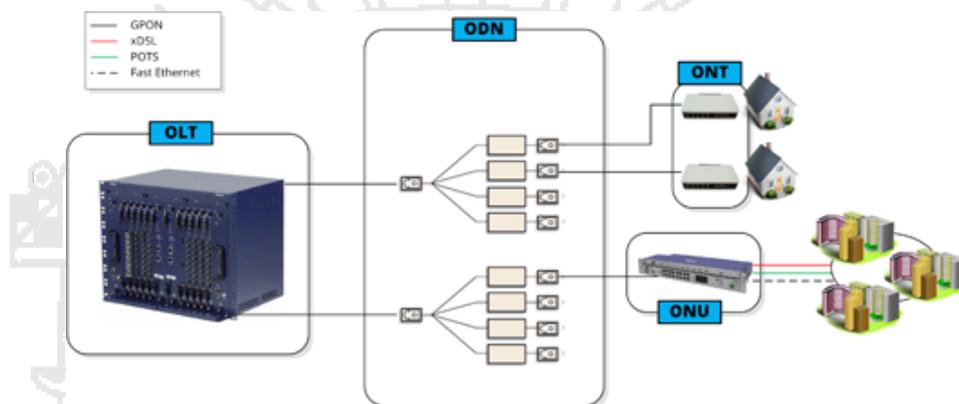
**Fuente:** (Tinoco Alvear, 2011).

En el caso del sentido ascendente se distribuye la funcionalidad de multiplicación de tráfico. La OLT asegura la transmisión de subida del tráfico que busca a las entidades dentro de las ONUs. La asignación del ancho de banda de subida de cada entidad es identificada por su asignación de IDs (“Allocs-IDs”). La asignación de diferentes Alloc-IDs son multiplexadas en un tiempo especificado por el OLT en el mapa de ancho de banda transmitido en la bajada. Con cada asignación de ancho de banda, la ONU usa el Port-ID como una llave para identificar la trama GEM que pertenece a cada conexión lógica de subida. El identificador de puerto GEM o GEM Port-ID, es un número de 12 bits que es asignado por la OLT a cada conexión individual lógica; se debe tener en cuenta, además, que la trama GEM tiene una cabecera de 5 bytes seguida por la información de longitud variable (Tinoco Alvear, 2011).

## b. Arquitectura del estándar GPON.

Partiendo desde la oficina central se conecta por medio de una fibra Monomodo hacia un Splitter cercano a los usuarios finales. Es en este punto es donde se realiza la división de la fibra en N rutas a los suscriptores.

FIGURA N° 48  
ARQUITECTURA DE RED GPON



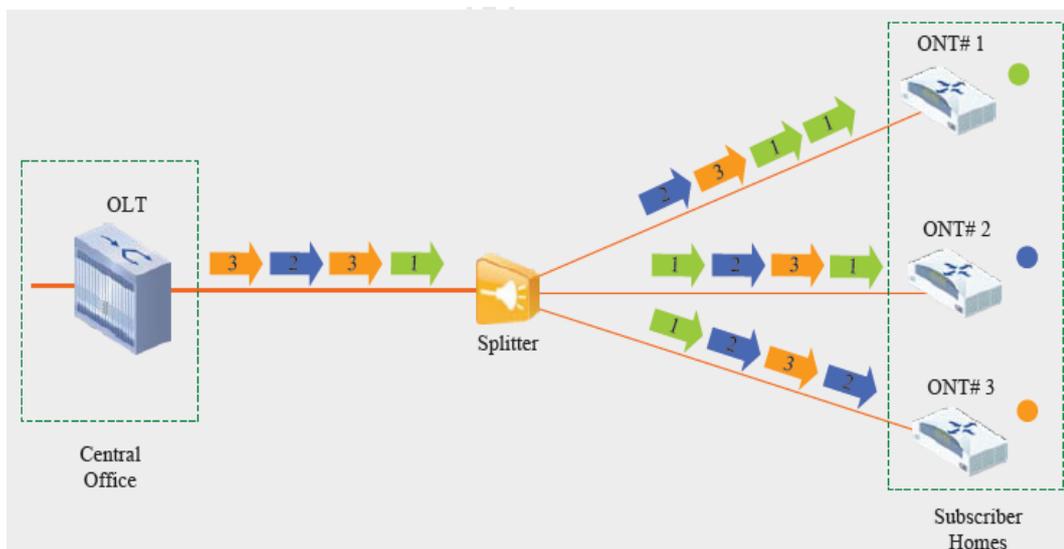
Fuente: (Deluxe, 2016).

Las longitudes de onda están relacionadas con el Upstream y el Downstream 1310nm y 1490nm respectivamente, para video RF 1550nm. El número de rutas o caminos puede variar desde 2 hasta 64 desde el Splitter de modo único hasta cada usuario (Edificio, empresa, Hogar, Nodo, etc.), donde la transmisión de Fibra desde la oficina central hasta cada usuario puede ser de hasta 20 Km. GPON define un estándar de tasas de transmisión de Upstream y Downstream dependiendo de la dirección del tráfico las que se pueden apreciar en la Tabla a continuación. El funcionamiento de la red GPON Downstream (Figura 4) consiste en que la OLT envía el tráfico utilizando Broadcast donde cada ONT verifica la dirección en el encabezado de las tramas, debido a que las ONTs reciben todo el tráfico, es necesario hacer la utilización de encriptación. La

OLT determina y le notifica a las ONTs los Time Slots para el envío de los datos (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

FIGURA N° 49

## PRINCIPIO GPON TRANSMISIÓN DOWNSTREAM TIPO BROADCAST



Fuente: (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

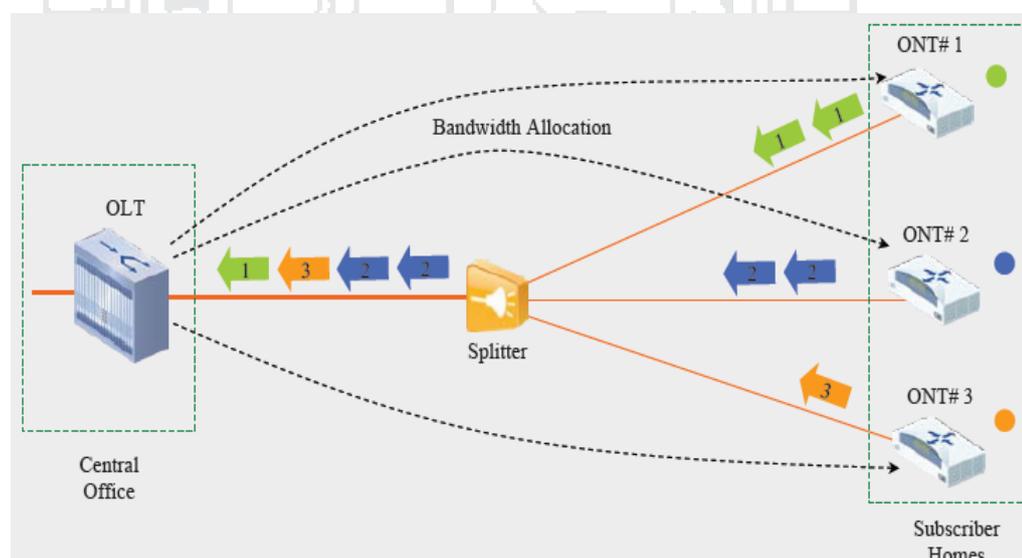
### i. Trama DownStream.

El tráfico Downstream es de manera Broadcast desde la OLT hasta todas las ONU's de forma TDM, cada ONU solo debe tener en cuenta las tramas de su destino las cuales se garantiza un cifrado. La trama Downstream consiste de un bloque de control físico PCBd (Bloque de Control Físico) y la partición GEM. La trama Downstream provee una referencia común de tiempo para el PON y provee un control de señalización común para el Upstream. La duración de la trama GPON (Figura anterior) es de  $125\mu\text{s}$  para ambas tasas de datos Downstream. La Longitud del PCBd es la misma para ambos y depende de la velocidad y del número de estructuras de asignación por trama. Si no hay datos para el envío, la trama todavía es transmitida y utilizada por el tiempo desincronización (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

## ii. Trama UpStream.

El funcionamiento de la Red GPON Upstream (Figura II-10) la ONT toma el tráfico del puerto de usuario y lo mapea en tramas GEM. La forma de realizar la transmisión de los datos es utilizando TDMA por medio de Time Slots asignados por la OLT. Por las condiciones de la red en donde la distancia entre las ONT y la OLT no es igual en todas las topologías es necesario evitar las colisiones sincronizando los tiempos de transmisión de las ONT de manera que el máximo tiempo de envío es de 5ms. (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

FIGURA N° 50  
PRINCIPIO GPON TRANSMISIÓN UPSTREAM SINCRONIZADO POR LA OLT



**Fuente:** (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

El tráfico Upstream utiliza TDMA, bajo el control sobre la OLT situado en la Oficina Central, el cual asigna un time Slot para cada ONU y sincroniza la transmisión de las ráfagas de datos. La trama Upstream consiste de múltiples ráfagas de transmisiones. Cada ráfaga Upstream contiene como mínimo el PLOu

(Capa Física Superior). Además de la carga útil, contiene también el PLOAMu (Capa Física de Operación, Administración Upstream) PLSu (Secuencia de Energía de Nivelación Upstream) y DBRu (Reporte de Ancho de Banda Upstream). La longitud de la trama (Figura anterior) es la misma, como en Downstream, para todas las tasas de transmisión. Cada trama contiene un número de transmisiones desde uno o más ONUs. Durante cada asignación de período de acuerdo con el control de la OLT, la ONU puede enviar desde 1 hasta 4 overhead PON y datos de usuario. (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

### iii. **Multiplicación de los servicios.**

Para que no se produzcan interferencias entre los contenidos en canal descendente y ascendente se utilizan dos longitudes de onda diferentes superpuestas utilizando la técnica WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda). Al utilizar estas longitudes diferentes es necesario, el uso de filtros ópticos para separarlas. Las redes ópticas pasivas deben estar ajustadas en función de la distancia entre un usuario y la central, el número de splitters y su atenuación; de tal manera, que el nivel luminoso que reciba cada ONU esté dentro de los márgenes, o bien se ajusta el nivel del láser o la atenuación de los splitters.

### iv. **Canal descendente.**

Se utiliza tecnología conceptualmente similar a TDM (Time Division Multiplexing). Todos los datos se transmiten a todas las ONTs (el splitter es un elemento pasivo que simplemente replica los datos). Cada ONT filtra los datos recibidos (sólo se queda con aquellos que van dirigidos hacia él). Tiene el problema de que el operador/usuario puede querer confidencialidad de los datos.

Debido a esta confidencialidad se puede utilizar cifrado de los datos. (Wikipedia, 2016).

**v. Canal ascendente.**

Se utiliza tecnología conceptualmente similar a TDMA (Time División Múltiple Access). La OLT controla el canal ascendente, asignando ventanas a las ONT. Se requiere un control de acceso al medio para evitar colisiones y para distribuir el ancho de banda entre los usuarios. Al ser el splitter un elemento pasivo, es necesaria la perfecta sincronización de los paquetes ascendentes que le lleguen, para que sea capaz de formar la trama GPON. Es por ello necesario que la OLT conozca la distancia a la que están las ONTs para tener en cuenta el retardo. (Wikipedia, 2016).

**vi. Identificación de usuarios.**

Todos los elementos situados entre OLT y ONT (fibra óptica, splitters, repartidores y conectores) son elementos pasivos (no requieren alimentación eléctrica). Esto implica que la OLT necesita un mecanismo que le permita identificar a cada uno de los usuarios que tiene conectados a una misma fibra. Para ello se ha creado un elemento denominado número de serie de ONT, que debe estar configurado tanto en la OLT como en la ONT. La OLT debe tener un registro de los números de serie de ONT de todos los usuarios y a qué puerto pertenecen (de qué fibra cuelgan). El número de serie está compuesto por 8 bytes (64 bits). Los primeros 4 bytes identifican al fabricante y los 4 siguientes a la ONT propiamente dicha. Para que sea más manejable, se suele convertir el número a ASCII (8 caracteres ASCII) o a hexadecimal (16 caracteres hexadecimales) (Wikipedia, 2016).

**vii. Configuración Remota de las ONT.**

Uno de los principales problemas que se ha intentado resolver en la tecnología GPON ha sido el conseguir gestión remota del equipamiento de usuario, ya que cada visita a casa del cliente supone un elevado coste económico. Esto permite reducir los costes derivados del OPEX. Para ello, dentro de la norma GPON se ha desarrollado un protocolo denominado OMCI (ONT Management and Control Interface). Este protocolo permite la configuración remota de las ONTs. Para cada ONT se establece un canal de gestión entre OLT y ONT. Incluye gestión, rendimiento, monitorización de alarmas, fallos y prestaciones. El protocolo OMCI es uno de los aspectos fundamentales para garantizar la interoperabilidad entre fabricantes. Hay diversos mecanismos de transmisión de la información OMCI. (Wikipedia, 2016).

**viii. Protocolos de enlace.**

- La norma GPON contempla dos posibilidades referentes a los protocolos de enlace que se pueden utilizar:
- ATM: es el utilizado por APON y BPON, por lo que es una solución continuista.
- GEM (GPON Encapsulation Method): se trata de un nuevo protocolo definido por la G.984s para en GPON.
- A pesar de existir las dos posibilidades, los fabricantes se han decantado por implementar solamente la solución GEM. La pila de protocolos quedaría de la siguiente manera: Ethernet sobre GEM, y éste sobre TDM/TDMA (Wikipedia, 2016).

### 2.3.7 Estándares.

Los estándares son acuerdos documentados, que contienen especificaciones técnicas u otros criterios precisos, para ser usados consistentemente como reglas, guías o definiciones de características, para asegurar que los materiales, productos, procesos y servicios cumplan con su propósito. Los estándares internacionales por lo tanto contribuyen a la interoperabilidad entre distintos fabricantes.

#### a) Tipos de estándares.

Existen tres tipos de estándares: de facto, de jure y los propietarios. Los estándares de facto son aquellos que tienen una alta penetración y aceptación en el mercado, pero aún no son oficiales.

Un estándar de jure u oficial, en cambio, es definido por grupos u organizaciones oficiales tales como la ITU, ISO, ANSI, entre otras.

La principal diferencia en cómo se generan los estándares de jure y facto, es que los estándares de jure son promulgados por grupos de gente de diferentes áreas del conocimiento que contribuyen con ideas, recursos y otros elementos para ayudar en el desarrollo y definición de un estándar específico. En cambio los estándares de facto son promulgados por comités "guiados" de una entidad o compañía que quiere sacar al mercado un producto o servicio; si tiene éxito es muy probable que una Organización Oficial lo adopte y se convierta en un estándar de jure.

Por otra parte, también existen los "estándares" propietarios que son propiedad absoluta de una corporación u entidad y su uso todavía no logra una

alta penetración en el mercado. Cabe aclarar que existen muchas compañías que trabajan con este esquema sólo para ganar clientes y de alguna manera "atarlos" a los productos que fabrica. Si un estándar propietario tiene éxito, al lograr más penetración en el mercado, puede convertirse en un estándar de facto e inclusive convertirse en un estándar de jure al ser adoptado por un organismo oficial.

Un ejemplo clásico del éxito de un estándar propietario es el conector RS-232, concebido en los años 60's por la EIA (Electronics Industries Association) en Estados Unidos. La amplia utilización de la interface EIA-232 dio como resultado su adopción por la ITU, quien describió las características eléctricas y funcionales de la interface en las recomendaciones V.28 y V.24 respectivamente. Por otra parte las características mecánicas se describen en la recomendación 2110 de la ISO, conocido comúnmente como ISO 2110.

#### **b) Tipos de organizaciones de estándares.**

Básicamente, existen dos tipos de organizaciones que definen estándares: Las organizaciones oficiales y los consorcios de fabricantes.

El primer tipo de organismo está integrado por consultores independientes, integrantes de departamentos o secretarías de estado de diferentes países u otros individuos. Ejemplos de este tipo de organizaciones son la ITU, ISO, ANSI, IEEE, IETF, IEC, entre otras.

Los consorcios de fabricantes están integrados por compañías fabricantes de equipo de comunicaciones o desarrolladores de software que conjuntamente definen estándares para que sus productos entren al mercado de las

telecomunicaciones y redes (e.g. ATM Forum, Frame Relay Forum, Gigabit Ethernet Alliance, ADSL Forum).

Una ventaja de los consorcios es que pueden llevar más rápidamente los beneficios de los estándares promulgados al usuario final, mientras que las organizaciones oficiales tardan más tiempo en liberarlos.

**c) Organismos de estandarización más importantes.**

**i) La Organización Internacional de Estándares (ISO).**

La ISO es una organización no-gubernamental establecida en 1947, tiene representantes de organizaciones importantes de estándares alrededor del mundo y actualmente conglomerada a más de 100 países.

La misión de la ISO es "promover el desarrollo de la estandarización y actividades relacionadas con el propósito de facilitar el intercambio internacional de bienes y servicios y para desarrollar la cooperación en la esfera de la actividad intelectual, científica, tecnológica y económica".

Los resultados del trabajo de la ISO son acuerdos internacionales publicados como estándares internacionales. Tanto la ISO como la ITU tienen su sede en Suiza.

**ii) La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU).**

La ITU es el organismo oficial más importante en materia de estándares en telecomunicaciones y está integrado por tres sectores o comités: el primero de ellos es la ITU-T (antes conocido como CCITT, Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía), cuya función principal es desarrollar

bosquejos técnicos y estándares para telefonía, telegrafía, interfaces, redes y otros aspectos de las telecomunicaciones. La ITU-T envía sus bosquejos a la ITU y ésta se encarga de aceptar o rechazar los estándares propuestos. El segundo comité es la ITU-R (antes conocido como CCIR, Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones), encargado de la promulgación de estándares de comunicaciones que utilizan el espectro electromagnético, como la radio, televisión UHF/VHF, comunicaciones por satélite, microondas, etc. El tercer comité ITU-D, es el sector de desarrollo, encargado de la organización, coordinación técnica y actividades de asistencia.

### iii) **La IEEE.**

Fundada en 1884, la IEEE es una sociedad establecida en los Estados Unidos que desarrolla estándares para las industrias eléctricas y electrónicas, particularmente en el área de redes de datos. Los profesionales de redes están particularmente interesados en el trabajo de los comités 802 de la IEEE. El comité 802 (80 porque fue fundado en el año de 1980 y 2 porque fue en el mes de febrero) enfoca sus esfuerzos en desarrollar protocolos de estándares para la interface física de las conexiones de las redes locales de datos, las cuales funcionan en la capa física y enlace de datos del modelo de referencia OSI. Estas especificaciones definen la manera en que se establecen las conexiones de datos entre los dispositivos de red, su control y terminación, así como las conexiones físicas como cableado y conectores.

#### **2.3.8 Principales recomendaciones ITU G.984.X.**

Debido a la necesidad de brindar al usuario mejores costos, competitividad y diversidad de marcas, se han propuesto un conjunto de

recomendaciones que regulan las diferentes características de los equipos desarrollados para el soporte del estándar GPON, a continuación, se presentan las cinco recomendaciones aprobadas en la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT en la serie G: (Sistemas y Medios De Transmisión, Sistemas y Redes Digitales):

- UIT-T G.984.1: Se trata de la introducción hacia el estándar GPON, presentando características generales de funcionamiento y constitución, con el fin de llegar a la convergencia de equipos, así como mostrar la topología utilizada. (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).
- UIT-T G.984.2: Se describe una red flexible de acceso en fibra óptica capaz de soportar los requisitos de banda ancha de los servicios a empresas y usuarios residenciales. velocidades binarias nominales de la señal digital en la sección de requisitos de la capa dependiente del medio físico para sedes GPON, esta recomendación viene dada de la siguiente forma y da como referencia que debe ser múltiplo de 8 KHz. (Tinoco Alvear, 2011).
  - 1244,16 Mbit/s – 155,52 Mbit/s.
  - 1244,16 Mbit/s – 622,08 Mbit/s.
  - 1244,16 Mbit/s – 1244,16 Mbit/s.
  - 1244,16 Mbit/s – 155,52 Mbit/s.
  - 2488,32 Mbit/s – 155,62 Mbit/s.
  - 2488,32 Mbit/s – 622,08 Mbit/s.

- 2488,32 Mbit/s – 1244,16 Mbit/s.
- 2488,32 Mbit/s – 2488,32 Mbit/s.
- UIT-T G.984.3: Denominada como la especificación de la Capa de Convergencia de Transmisión TC (Convergencia de Transmisión), expone los formatos de trama, el método de control de acceso, el método ranging, la funcionalidad OAM y la seguridad en redes GPON (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).
- UIT-T G.984.4: Especificación de la interfaz de control y gestión OMCI de la terminación de red óptica ONT, donde el análisis se enfoca en los recursos y servicios procesados de una base de información de gestión o manejo MBI independiente del protocolo de comunicación entre OLT y ONT (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).
- UIT-T G.984.5: Recomendación que sugiere el rango de bandas y longitudes de onda que se reservan para en un futuro, implementar señales de nuevos servicios, usa la técnica de multiplexación de información (WDM), para aprovechar de mejor manera en el caso de nuevas redes ópticas pasivas, en virtud del manejo recomendable de las ODN (Gomez Bossano & Morejon Gaibor, 2012).

## **2.4 EQUIPOS DE MEDICIÓN Y CERTIFICACIÓN.**

### **2.4.1 OTDR ( Optical Time Domain Reflectometer - Reflectómetro Óptico).**

Este es el elemento de prueba utilizado para la medición de las propiedades del cable de fibra óptica. Cada medición se entrega con un informe y el protocolo correspondiente.

FIGURA N° 51  
OTDR EXFO FTB-1

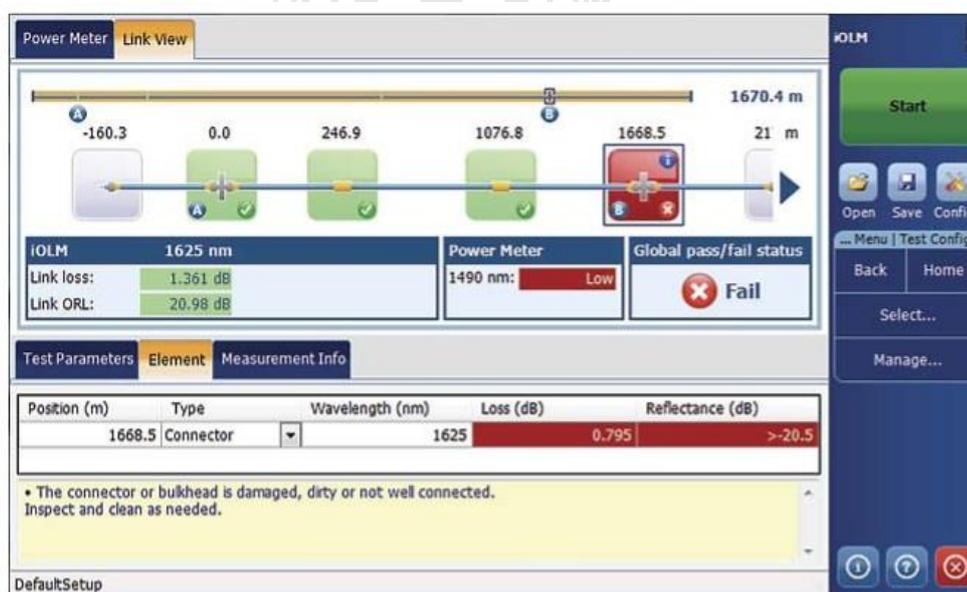


Fuente: EXFO.

Para probar las fibras en una dirección, conectamos el OTDR a un extremo de la fibra óptica para adquirir una lectura que proveerá información sobre la continuidad del tramo de fibra, sobre la pérdida en cada empalme, la pérdida total (punta a punta), la atenuación característica de cada segmento de fibra en la red y la reflectancia de empalmes o conexiones. Como regla general, todas las mediciones reflectométricas se llevan a cabo en las ventanas de 1310nm y 1550nm. Las mediciones en la segunda ventana, permiten la evaluación de la instalación, mientras que la que se llevan a cabo en la tercera ventana demostrarán el impacto de las tensiones residuales y curvaturas en la fibra, lo que permite detectar defectos en la instalación. La tolerancia en la longitud de onda de trabajo del equipo es de 35nm para la segunda y tercera ventana. Cuando se analizan atenuaciones, las mismas son llevadas a cabo en ambas direcciones donde el valor real será la media aritmética en ambas direcciones. Si no conocemos el valor del índice de refracción, el valor adoptado es 1.4650(Hinojosa Gomez , 2007).

En los OTDR se debe considerar la capacidad de medir tramos de red que tienen elementos pasivos como los spllinter; un OTDR común al encontrar un spllinter considerara que es el fin del tramo dela fibra debido al alto grado de perdida que introduce un spllinter al tramo. Esta característica de reconocer los spllinter en los OTDR EXFO se conoce como capacidad iOLM.

FIGURA N° 52  
OTDR EXFO FTB-1 CON CAPACIDAD DE RECONOCIMIENTO DE SPPLITER



Fuente: EXFO.

### 2.4.2 Localizador de fallas.

Es una herramienta que ayuda en la etapa de construcción y mantenimiento de la red, pues sin mayores equipos adicionales permite localizar las fallas visualmente.

FIGURA N° 53

VLF EXFO



Fuente: EXFO.

### 2.4.3 Fuente de luz.

Esta herramienta está conformada por dos partes un equipo transmisor y un equipo receptor permite medir la potencia absoluta y calcular la pérdida en enlaces de fibra óptica en varias longitudes de onda. La medición de potencia absoluta es útil para solucionar problemas de equipo que no están funcionando correctamente.

FIGURA N° 54

ELS-50



Fuente: EXFO.

### 2.4.4 GPON meter.

Medidor de potencia portátil y altamente versátil que permite la ejecución de pruebas de todas las señales PON, en cualquier lugar de la red, en forma rápida y en sitio.

FIGURA N° 55

PPM-350C

**Fuente:** EXFO.

Es una herramienta usada en la fase de operación nos permite evaluar la calidad de servicio en una red PON.

## 2.5 TIPOS DE ABONADO.

Los abonados o usuarios de servicios de telecomunicaciones se clasifican en:

### 2.5.1 Usuarios familiares de vivienda única (SFU - Single Family Unit).

Este tipo de usuario se caracteriza por usar el servicio de telecomunicaciones únicamente por los miembros de una familia y no comparten la conexión del servicio.

**2.5.2 Usuarios Multifamiliares (MDU - Multidwelling Unit).**

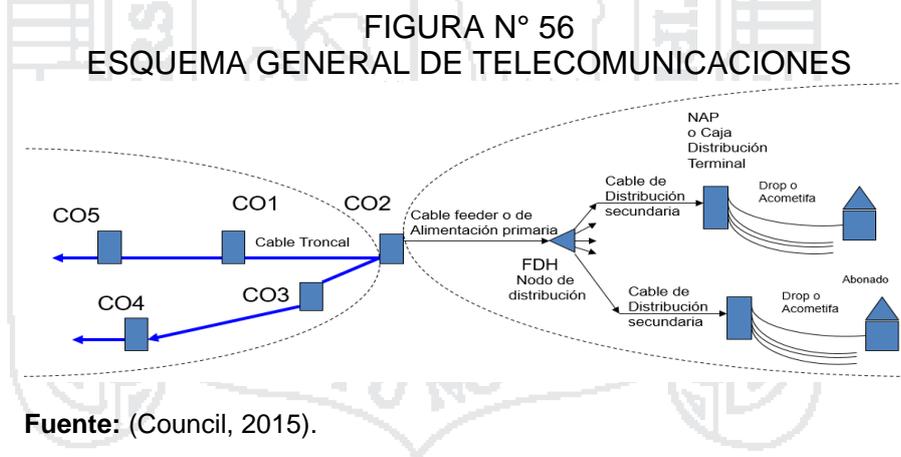
Este tipo de usuario se caracteriza por usar el servicio de telecomunicaciones entre muchas familias y comparten la conexión a la red de telecomunicaciones.

**2.5.3 Usuario Empresarial (Business).**

Este tipo de usuario se caracteriza por requerir de servicios especiales como mayor ancho de banda, ancho de banda dedicado, redundancia, calidad de servicio.

**2.6 ESQUEMA GENERAL DE UNA RED DE TELECOMUNICACIONES.**

Una red de telecomunicaciones está formada básicamente por una red Core y una red de distribución.



**2.6.1 Red Core.**

La red Core o red troncal es la infraestructura de red que comunica el centro de operaciones de red (NOC) con redes de menor jerarquía como la red de distribución, su principal característica es que está constituido por cableado de fibra óptica de gran capacidad y cuenta con nodos de interconexión cada 1km de distancia.

Sirve de alimentador a diferentes redes y tecnologías que la operadora de telecomunicaciones puede implementar como son redes FTTH, redes 4G, redes ADSL, redes HFC, que se conectaran a los nodos de interconexión para poder llegar al centro de operaciones de red.

### **2.6.2 Red de Acceso.**

La red de acceso está constituida por:

#### **a) Red de alimentación primaria.**

Es la parte de la red que interconecta la red Core con la red de distribución partiendo desde un punto de interconexión fijada por la red Core hacia el nodo de distribución, cuya característica principal es tener 6 puntos de interconexión por kilómetro.

#### **b) Red de distribución secundaria.**

La red de distribución secundaria es la red que interconecta la red de alimentación primaria con los NAP o puntos de interconexión de abonados, su principal característica radica en que cada 200 metros o menos según la ubicación de los NAPs.

#### **c) Red de acometida.**

La red de acometida o Drop es la red que conecta las NAPs (terminales de abonado), con el domicilio del abonado terminando en una roseta óptica, su principal característica es usar cable mucho más delgado y manejable para la instalación en interiores.



### 3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

El presente trabajo de investigación, responde a la modalidad de investigación no experimental y tiene un enfoque cualitativo, porque describe las características y bondades de la tecnología FTTH del estándar GPON en estudio con el que se pretende solucionar el problema de acceso de última milla para la empresa operadoras de telecomunicaciones AMITEL S.A.C.

### 3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.

#### i) Población.

Para el estudio del presente trabajo de investigación se toma como población la ciudad de Puno, debido que la empresa operadora AMITEL S.A.C tiene planificado desplegar su red de acceso en dicha ciudad.

#### ii) Muestra.

El tipo y tamaño de la muestra utilizado para el presente trabajo de investigación es del tipo no probabilístico donde el área de investigación se seleccionó por conveniencia, proximidad y facilidad de acceso de información.

#### iii) Ubicación y Descripción de la Población.

La ubicación de la población para este proyecto de investigación se encuentra en el departamento de Puno demarcado por las cuadras: Av. Sesquicentenario, Av. Simón Bolívar, Jr. los Incas y Av. Costanera norte como se muestra a continuación.

FIGURA N° 57

UBICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



Fuente: Google Earth.

Elaboración: Propia.





**c. Material Experimental.**

El material experimental está conformado por la documentación técnica como estándares ITU, hojas de datos de equipos y elementos de la red ODN, computadoras, calculadora.

**d. Técnicas e Instrumentos para recolectar información.**

Para la recolección de la información se utilizó técnicas cualitativas y cuantitativas para lo cual se utilizó un recorrido por toda la zona de la muestra para recabar información tales como el número de viviendas unifamiliares, el número de viviendas multifamiliares, número de empresas, distancia entre postes.

Además, se utilizó documentación oficial de fabricantes de elementos de ODN, documentos oficiales de entidades como, ITU, ANSI.

**e. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.**

El procesamiento de información recopilada se realizó en planos, sistemas de geolocalización (GoogleEarth) y tablas Excel.

**f. Procedimiento del experimento.**

Para la realización del presente trabajo de investigación se inició con la recopilación de información que consistió en recorrer la zona que se seleccionó como muestra donde se levantó información referente a la distancia que recorrerá la red de acceso, los postes de apoyo que se utilizara, el número de viviendas unifamiliares, el numero negocios, dicha información se procesó en Google Heart para un previo diseño , donde se definió la ruta de la red acceso y

la ubicación de los NAPS(caja de distribución de abonado), en seguida se realizaron cálculos de ingeniería para la ODN de tal forma nos permita conocer si cumple el presupuesto óptico y se definió la ubicación de los NAPs cumpliendo con las normas ITU. Seguidamente se procedió con la implementación de planos de recorrido y ubicación de los NAPs para su posterior implementación.

Para finalizar se hizo una lista de materiales de ferretería, y elementos de la ODN diseñado que pueden ser cotizados y adquiridos en su implementación.

**g. Plan de tratamiento de datos.**

- Procesamiento preliminar de ruta para la red de acceso Google Heart.
- Ubicación de posible punto de interconexión de abonados (NAPs) Google Hearth.
- Procesamiento de información de distancias Excel 2013.
- Calculo de potencia de tramos Excel 2013.
- Verificación de los resultados según de normas ITU 984.
- Diseño final de plano Autocad 2015.
- Lista de elementos de ODN según diseño.

**h. Prueba de la Hipótesis.**

**i. Hipótesis específica 01.**

El diseño de la ODN para la red de acceso cumple el estándar ITU-T.

**Validación.**

Según el cálculo de potencias ANEXO I, podemos apreciar que la ODN diseñada tiene una pérdida de potencia de 19dbm, que es mucho menor que la potencia máxima de pérdida establecida por la ITU G984.X.

**ii. Hipótesis específica 02.**

El diseño de red cumple con los requerimientos mínimos de ancho de banda para brindar servicio a los diferentes tipos de abonado.

**Validación.**

De los resultados obtenidos en la investigación sección cálculo de ancho de banda podemos concluir que la ODN diseñada usando el estándar GPON B+ cumple los requerimientos de ancho de banda.

**iii. Hipótesis específica 03.**

Seguir el procedimiento de buenas prácticas recomendados por la ITU y otras organizaciones ayuda en el buen diseño.

**Validación.**

En el trabajo de investigación se consideró toda las recomendaciones de la ITU norma G984.X, el mismo nos facilitó el diseño, a su vez nos garantiza que en el momento de su implementación funcione la red correctamente.

**iv. Hipótesis General.**

El diseño de la red de acceso FTTH usando el estándar GPON cumple los requerimientos técnicos requeridos por la empresa AMITEL S.A.C, Puno.

**Validación.**

Luego de haber validados nuestras tres hipótesis específicas, se concluye que nuestra hipótesis general es validada como verdadera.



#### 4.1 CLASIFICACIÓN DEL ESTÁNDAR GPON.

La clasificación del estándar GPON según la norma ITU-T están compuesta de la siguiente manera:

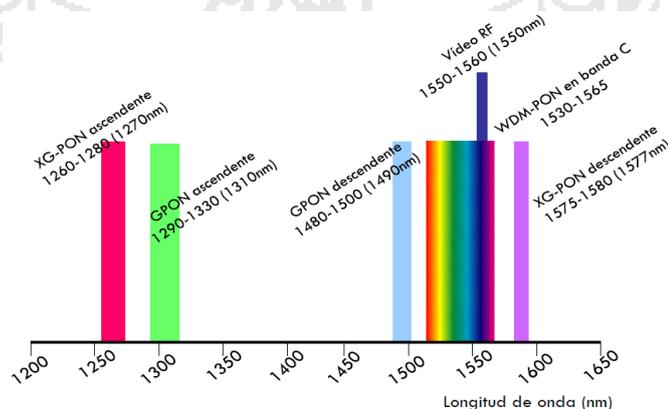
TABLA N° 02  
CLASIFICACIÓN DE ESTÁNDARES GPON

Clase	Rango de atenuación óptica	Recomendación ITU-T
GPON Clase A	5-20 dB	G.984.2 (2003)
GPON Clase B	10-25 dB	G.984.2 (2003)
GPON Clase C	15-30 dB	G.984.2 (2003)
GPON Clase B+	13-28 dB	G.984.2 Amendment 1 (2006)
GPON Clase C+	17-32 dB	G.984.2 Amendment 2 (2008)
XG-PON N1	14-29 dB	G.987.2 (2010)
XG-PON N2	16-31 dB	G.987.2 (2010)
XG-PON E1	18-33 dB	G.987.2 (2010)
XG-PON E2	20-35 dB	G.987.2 (2010)

Fuente: (Council, 2015).  
Elaboración: Propia.

#### 4.2 ESPECTRO ÓPTICO GPON.

FIGURA N° 59  
ESPECTRO ÓPTICO GPON



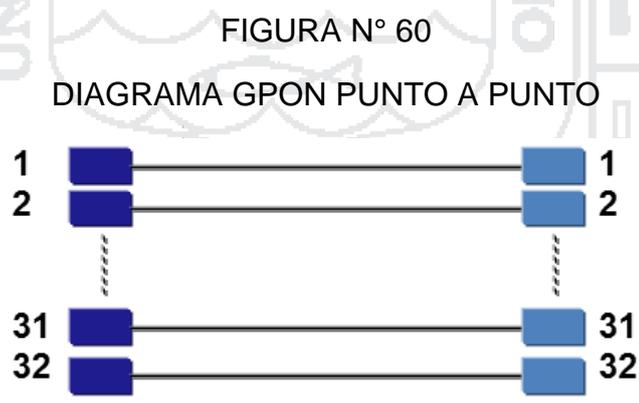
Fuente: (Council, 2015).

### 4.3 TOPOLOGÍA FÍSICA TECNOLOGÍA GPON.

#### 4.3.1 Punto a Punto.

Un láser en la central y una fibra por abonado.

- Permiten puntos de acceso y prueba.
- Implican mayor pérdida por Inserción (conectores).
- Se instalan normalmente en armarios de calle.
- Permiten agregado de casetes según crecimiento de la demanda.
- Optimizan el uso de las Tarjetas PON de la OLT.
- CAPEX ligeramente mayor.
- Los conectores permiten desconectar al abonado en falla y hacer OTDR desde el armario FDH.



Elaboración: Propia.

#### 4.3.2 Punto Multi Punto.

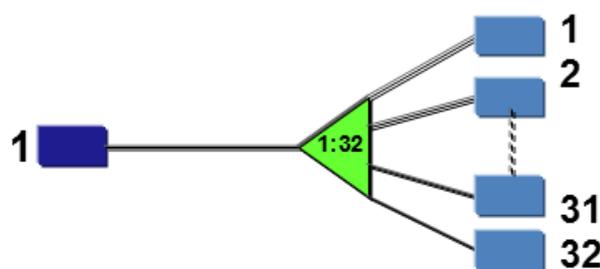
Un láser de la central es dividido entre varios abonados 1:32 o 1:64

- Permiten instalación en cierres subterráneos, poste, o fachada.

- Implican menor pérdida por Inserción (empalme fusión).
- Red dedicada entre el ODF y la NAP.
- Deben instalarse todos los divisores desde el primer día.
- CAPEX ligeramente menor.
- Los empalmes no permiten desconexión del abonado en falla y por lo tanto se debe hacer OTDR desde la NAP (con conectores).

FIGURA N° 61

## TOPOLOGÍA PUNTO MULTI PUNTO



Elaboración: Propia.

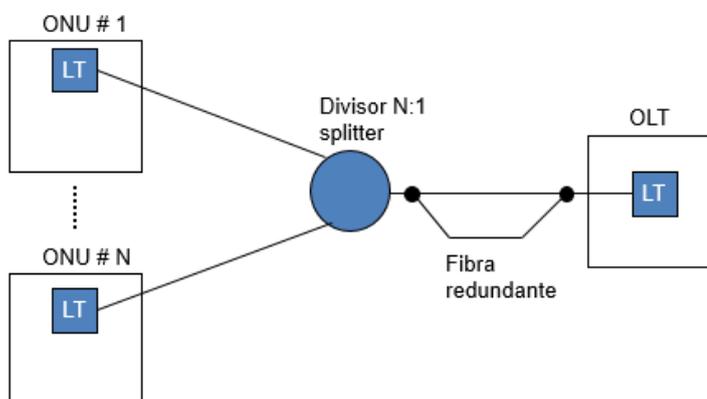
#### 4.4 Sistemas de conmutación para protección de redundancia.

Con el fin de asegurar la continuidad del servicio por posibles fallas en la red de acceso o equipos activos el estándar ITU G.984 recomienda una serie de configuraciones que aseguren el acceso continuo sin fallas.

##### 4.4.1 Redundancia de fibra dúplex.

Consiste en tener doble ruta en la red de acceso que parte de la OLT hacia el nodo de distribución, usando únicamente un puerto activo de OLT.

FIGURA N° 62  
REDUNDANCIA DE FIBRA DÚPLEX

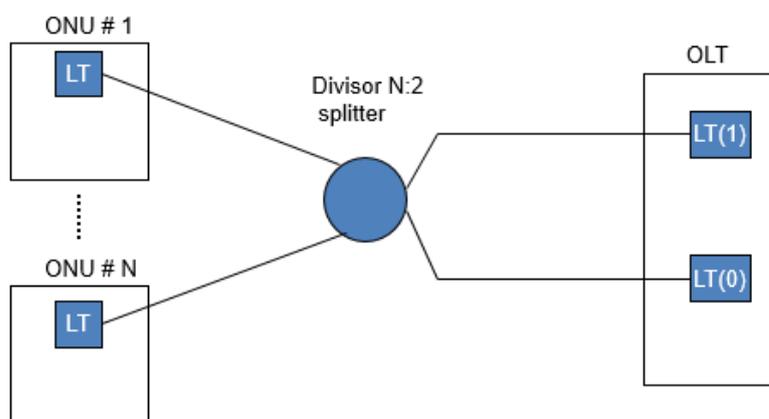


Fuente: (Council, 2015).

#### 4.4.2 Redundancia de Puerto activo – OLT.

Consiste en tener doble ruta en la red de acceso que parte de la OLT hacia el nodo de distribución a su vez dos puertos diferentes de OLT que alimentan al mismo nodo de distribución.

FIGURA N° 63  
REDUNDANCIA DE PUERTO ACTIVO-OLT



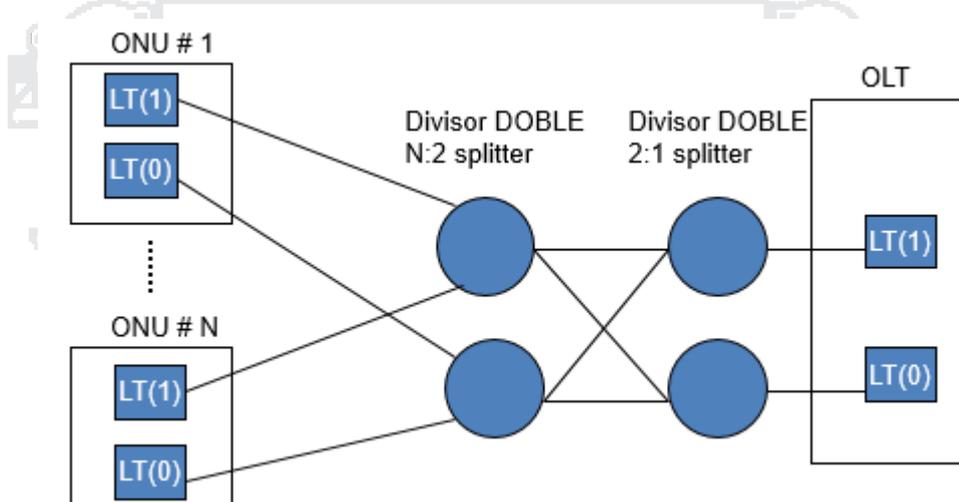
Fuente: (Council, 2015).

#### 4.4.3 Redundancia dúplex total.

Consiste en tener doble ruta en la red de acceso que parte de la OLT hacia el nodo de distribución a su vez se cuenta con dos nodos de distribución redundantes interconectadas entre sí que usan rutas alternas de acceso al abonado y se cuenta con redundancia en los puertos de OLT que alimentan a dos nodo de distribución diferentes.

FIGURA N° 64

REDUNDANCIA DUPLEX TOTAL



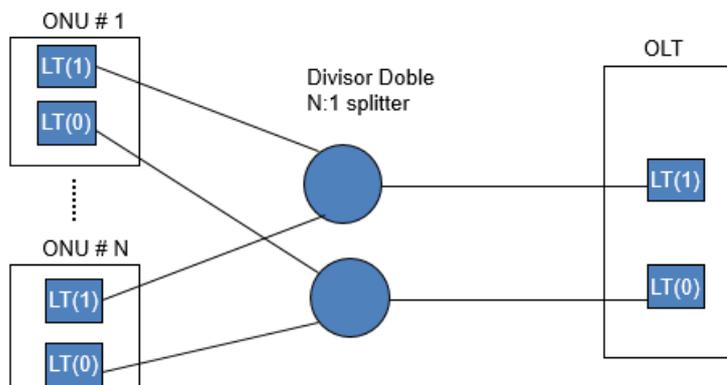
Fuente: (Council, 2015).

#### 4.4.4 Redundancia dúplex parcial.

Consiste en tener doble ruta en la red de acceso que parte de la OLT hacia el nodo de distribución a su vez dos puertos diferentes de OLT que alimentan a dos nodos de distribución diferentes y estos alimentan a los abonados con 2 rutas distintas.

FIGURA N° 65

REDUNDANCIA DUPLEX PARCIAL



Fuente: (Council, 2015).

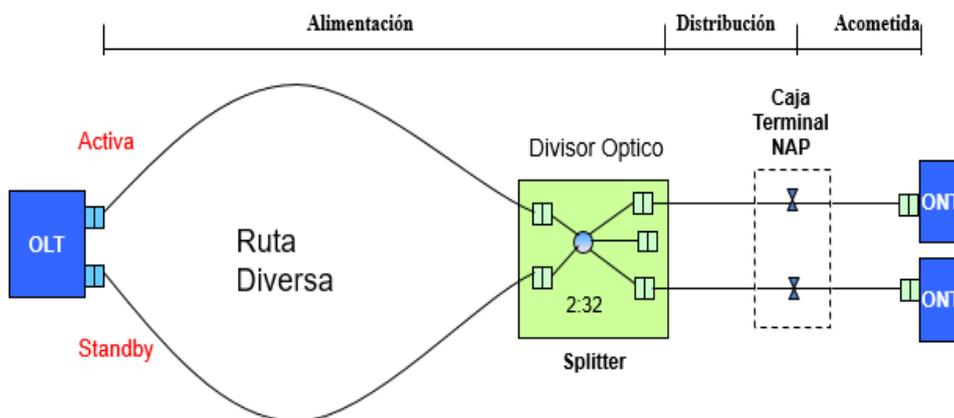
4.4.5 Redundancia recomendada según ITU - G.984.1.

La recomendación según ITU - G.984.1 para asegurar buen servicio debe contar con las siguientes características:

- Proteger la alimentación principal que es la parte más crítica.
- Proteger la tarjeta PON en caso de falla de hardware.
- Se recomienda el uso para grandes clientes.

FIGURA N° 66

REDUNDANCIA RECOMENDADA SEGÚN ITU



Fuente: (Council, 2015).

#### 4.5 ESTÁNDARES A CUMPLIR PARA EL DISEÑO DE LA ODN (RED PASIVA) GPON.

Los componentes de la ODN deben cumplir con las siguientes normas o especificaciones según al elemento de red que se trate:

- ITU-T G.652D: Fibras y cable ópticos de planta externa.
- ITU-T G.657 A y G.657 B: Fibras y cables resistentes a radios de curvatura pequeños.
- ITU-T. G.984.1: Características generales, vigente (03/2003).
- ITU-T. G.984.2: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos, vigente G.984.2 (03/03).
- ITU-T. G.984.3: Especificación de la capa de convergencia de transmisión vigente G.984.3 (01/14).
- ITU-T. G.984.4: Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica, vigente (02/08).
- ITU-T .G.984.5: Banda de ampliación (05/14).
- Telcordia GR-449 Emisión 3: Repartidores Ópticos.
- Telcordia GR-409 Emisión 2: Cable Fibra Óptica.
- Telcordia GR-468 Emisión 2: Confiabilidad de dispositivos opto-electrónicos usados en equipos de telecomunicaciones.
- Telcordia GR-1209 Emisión 4: Componentes Ópticos Pasivos

- Telcordia GR-771 Emisión 2 : Cierres de empalme ópticos de Planta externa.
- Telcordia GR-326 Emisión 4: Conectores mono modo (SM) y cordones o jumpers ópticos.
- Telcordia GR-1435 Emisión 2 : Conectores ópticos multifibra
- IEC 61300, 60068, 61753, 61754,61755.

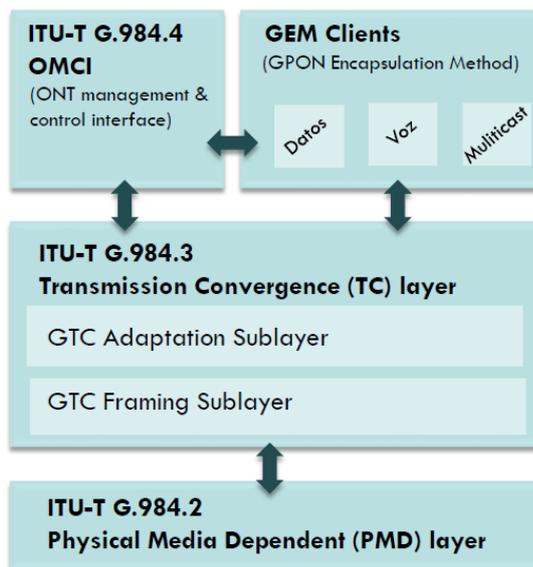
FIGURA N° 67

RESUMEN ESTÁNDARES GPON

MIB (Management Information Base) definidas como entidades OMCI  
 Gestión ONT  
 Configuración y gestión de servicios  
 Configuración y gestión del subnivel adaptación GTC

Definición y multiplexación de tramas GTC  
 Asignación de ancho de banda  
 Acceso al medio en canal ascendente  
 FEC  
 Seguridad  
 Activación de la ONT  
 PLOAM (Physical layer OAM messaging channel)

Velocidades de transmisión  
 Sensibilidad y potencia óptica  
 Codificación NRZ  
 Longitudes de onda up y down



Fuente: (Council, 2015).

4.6 RECOMENDACIONES DE VELOCIDAD DE PUERTO PON ITU-T-G.984.2 REV 1.

La velocidad por puerto según el estándar ITU-T-G.984-2 rev1 es de 2.4Gbps de bajada y 1.2Gbps de subida la misma que conforme se vaya distribuyendo usando sppliter estará disminuyendo como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA N° 03  
 POR ABONADO CON TRÁFICO HOMOGÉNEO SIN BLOQUEO U OVERBOOKING

Nivel de Split	Velocidad Bajada	Velocidad Subida
-	2.4 Gbps	1.2Gbps
1:2	1200 Mbps	600 Mbps
1:4	600 Mbps	300 Mbps
1:8	300 Mbps	150 Mbps
1:16	150 Mbps	75 Mbps
1:32	75 Mbps	37.5 Mbps
1:64	37.5 Mbps	18.5 Mbps

Fuente: (Council, 2015).

Elaboración: Propia.

#### 4.7 PRINCIPALES PARÁMETROS A CONSIDERAR PARA EL DISEÑO SEGÚN ESTÁNDAR GPON / ITU G.984.

##### 4.7.1 Red pasiva.

TABLA N° 04  
 DATOS CONSIDERAR PARA EL DISEÑO

Descripción	Valor	Estándar
Máximo alcance lógico	$\leq 60\text{km}$	ITU G984.1
Alcance máximo físico	$\leq 10\text{km}$ (distancia máxima conexión de ONUs nivel de spllit alto); $\leq 20\text{km}$ nivel de spllit bajo	ITU G984.1
Distancia diferencial de fibra	$\leq 20\text{km}$	ITU G984.1
Retardo medio de transferencia de señal	$\leq 1.5\text{ms}$	ITU G984.1
Nivel de spllit máximo	1:64	ITU G984.1
DWN & UP Line Code	PCM, type NRZ	ITU G984.2
Nivel de lógica óptica	Nivel de energía alta = "1" Nivel de energía baja = "0"	ITU G984.2
Rango de Atenuación	Clase A: 5 a 20 dB Clase B: 10 a 25 dB Clase C: 15 a 30 dB	ITU G984.2
Relación de perdida	$Ex = 10 \log A / B > 10 \text{ dB}$ A = PWR medio en el centro de un "1" B = PWR medio en el centro de un "0"	ITU G984.2
VER	$\leq (10)$	ITU G984.2

Fuente: (Council, 2015).

Elaboración: Propia.

4.7.2 Parámetros de fibra óptica.

TABLA N° 05  
PARÁMETROS DE FIBRA ÓPTICA

Descripción	Atenuación	Estándar
Fibra óptica 1310nm (Km)	-0.4 dB	ITU G984.2
Fibra óptica 1550nm (Km).	-0.3 dB	ITU G984.2
Empalme por fusión	-0.1 ~ -0.2 dB	ITU G984.2
Empalme mecánico	-0.5 dB	ITU G984.2
Perdidas inserción (conector)	-0.3 ~ -0.5 dB	ITU G984.2

Fuente: (Council, 2015).

Elaboración: Propia.

4.7.3 Taza de división óptica.

TABLA N° 06  
TAZA DE DIVISIÓN ÓPTICA Y PÉRDIDA DE INSERCIÓN

División óptica	Atenuación	Estándar
1:2	-3.01 dB	ITU G984.2
1:4	-6.02 dB	ITU G984.2
1:8	-9.03 dB	ITU G984.2
1:16	-12.04 dB	ITU G984.2
1:32	-15.04 dB	ITU G984.2
1:64	-18.07 dB	ITU G984.2
1:128	-21.08 dB	ITU G984.2

Fuente: (Council, 2015).

Elaboración: Propia.

**4.7.4 Red pasiva.**

**a) OLT.**

Los parámetros a considerar en el diseño para la OLT según la recomendación ITU G.984 versión uno es como sigue:

TABLA N° 07  
PARÁMETROS EN EL DISEÑO PARA LA OLT

Descripción	Valor	Estándar
Potencia de Lanzamiento Media Min.	1.5 dBm	ITU G984.2
Potencia de Lanzamiento Media Max.	5.0 dBm	ITU G984.2
Sensibilidad Mínima	-28.0 dBm	ITU G984.2

Fuente: (Council, 2015).  
Elaboración: Propia.

**b) ONU.**

Los parámetros a considerar en el diseño para la ONU según la recomendación ITU G.984 versión uno es como sigue:

TABLA N° 08  
PARÁMETROS EN EL DISEÑO PARA LA ONU

Descripción	Valor	Estándar
Potencia de Lanzamiento Media Min.	0.5 dBm	ITU G984.2
Potencia de Lanzamiento Media Max.	5.0 dBm	ITU G984.2
Sensibilidad Mínima	-27.0 dBm	ITU G984.2

Fuente: (Council, 2015).  
Elaboración: Propia.

#### 4.8 SUPERPOSICIÓN DE VIDEO RF EN GPON.

Para aprovechar al máximo la red de acceso es posible sobre poner en la red el tradicional video RF para lo cual se debe considerar que el video de CATV RF trabaja en el espectro de 47 MHz a 850MHz y según ANSI separa canales a 6 MHz y ETSI a 8 MHz por otro lado NTSC usa canalización a 6 MHz para soportar hasta 135 canales RF y se utiliza QAM para digitalizar los canales análogos con ellos se logra tener 40 Mbps por canal con QAM 256.

FIGURA N° 68  
SUPERPOSICIÓN DE VIDEO RF



Fuente: (Council, 2015).

Si se considera tener canales análogos y canales digitales a la vez siendo transportado por la red se debe considerar los siguientes parámetros.

TABLA N° 09  
CANALES ANALÓGICOS Y CANALES DIGITALES

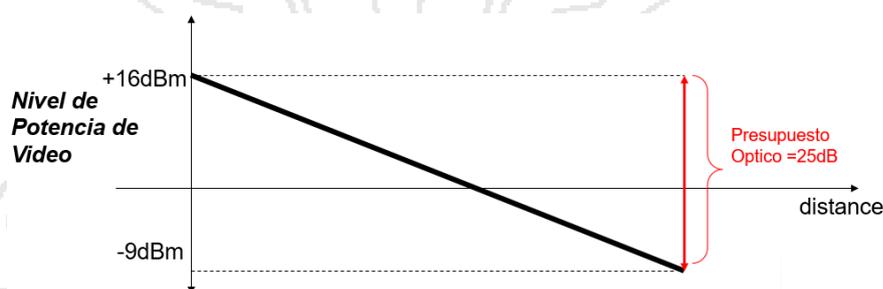
Required minimum optical level at the GPON ONT F connector versus channel map																	
Number of 256 QAM	Number of Analog channel	Cantidad de Canales Analógicos															
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
5	-17.4	-13.6	-12.1	-11.2	-10.5	-9.9	-9.4	-9.0	-8.6	-8.3	-8.0	-7.7	-7.5	-7.3	-7.0	-6.8	-6.6
10	-15.7	-13.1	-11.8	-11.0	-10.3	-9.8	-9.3	-8.9	-8.6	-8.2	-8.0	-7.7	-7.4	-7.2	-7.0	-6.8	-6.6
15	-14.8	-12.7	-11.6	-10.8	-10.2	-9.6	-9.2	-8.8	-8.5	-8.2	-7.9	-7.6	-7.4	-7.2	-6.9	-6.7	-6.6
20	-14.1	-12.4	-11.4	-10.6	-10.0	-9.5	-9.1	-8.7	-8.4	-8.1	-7.8	-7.6	-7.3	-7.1	-6.9	-6.7	-6.6
25	-13.6	-12.1	-11.2	-10.5	-9.9	-9.4	-9.0	-8.6	-8.3	-8.0	-7.7	-7.5	-7.3	-7.0	-6.8	-6.6	-6.5
30	-13.1	-11.8	-11.0	-10.3	-9.8	-9.3	-8.9	-8.6	-8.2	-7.9	-7.7	-7.4	-7.2	-7.0	-6.8	-6.6	-6.4
35	-12.7	-11.6	-10.8	-10.2	-9.6	-9.2	-8.8	-8.5	-8.2	-7.9	-7.6	-7.4	-7.2	-6.9	-6.7	-6.6	-6.4
40	-12.4	-11.4	-10.6	-10.0	-9.5	-9.1	-8.7	-8.4	-8.1	-7.8	-7.6	-7.3	-7.1	-6.9	-6.7	-6.5	-6.3
45	-12.1	-11.2	-10.5	-9.9	-9.4	-9.0	-8.6	-8.3	-8.0	-7.7	-7.5	-7.3	-7.0	-6.8	-6.6	-6.5	-6.3
50	-11.8	-11.0	-10.3	-9.8	-9.3	-8.9	-8.6	-8.2	-7.9	-7.7	-7.4	-7.2	-7.0	-6.8	-6.6	-6.4	-6.2
55	-11.6	-10.8	-10.2	-9.6	-9.2	-8.8	-8.5	-8.2	-7.9	-7.6	-7.4	-7.2	-6.9	-6.7	-6.6	-6.4	-6.2
60	-11.4	-10.6	-10.0	-9.5	-9.1	-8.7	-8.4	-8.1	-7.8	-7.6	-7.3	-7.1	-6.9	-6.7	-6.5	-6.3	
65	-11.2	-10.5	-9.9	-9.4	-9.0	-8.6	-8.3	-8.0	-7.7	-7.5	-7.3	-7.0	-6.8	-6.6	-6.5		
70	-11.0	-10.3	-9.8	-9.3	-8.9	-8.6	-8.2	-7.9	-7.7	-7.4	-7.2	-7.0	-6.8	-6.6			
75	-10.8	-10.2	-9.6	-9.2	-8.8	-8.5	-8.2	-7.9	-7.6	-7.4	-7.1	-6.9	-6.7				
80	-10.6	-10.0	-9.5	-9.1	-8.7	-8.4	-8.1	-7.8	-7.6	-7.3	-7.1	-6.9					
85	-10.5	-9.9	-9.4	-9.0	-8.6	-8.3	-8.0	-7.7	-7.5	-7.2							
90	-10.3	-9.8	-9.3	-8.9	-8.6	-8.2	-7.9	-7.7	-7.4	-7.2							
95	-10.2	-9.6	-9.2	-8.8	-8.5	-8.2	-7.9	-7.6	-7.4								
100	-10.0	-9.5	-9.1	-8.7	-8.4	-8.1	-7.8	-7.6									
105	-9.9	-9.4	-9.0	-8.6	-8.3	-8.0	-7.7										
110	-9.8	-9.3	-8.9	-8.6	-8.2	-7.9											
115	-9.6	-9.2	-8.8	-8.5	-8.2												
120	-9.5	-9.1	-8.7	-8.4													
125	-9.4	-9.0	-8.6														
130	-9.3	-8.9															
135	-9.2																

Fuente: (Council, 2015).

Si se diseñara la red de acceso para transportar 30 canales analógicos y 25 digitales sería necesario  $-9.0\text{dBm}$  de sensibilidad en la ONT, por lo tanto si el presupuesto óptico es de 25 dB en la ODN, la potencia MIN de Lanzamiento en el EDFA es  $+16\text{dBm}$ .

FIGURA N° 69

## NIVEL DE POTENCIA DE VIDEO



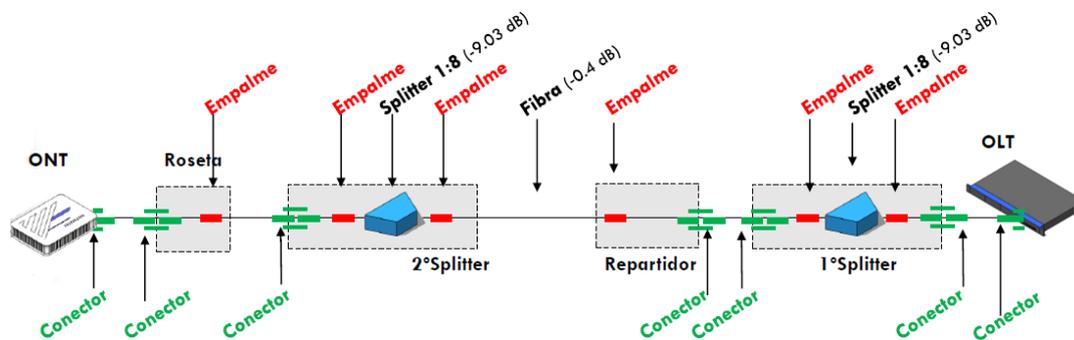
Fuente: (Council, 2015).

#### 4.9 PRESUPUESTO ÓPTICO.

El presupuesto óptico es la acumulación de atenuación que inciden directamente en el diseño de la ODN, según el estándar ITU 984.X son:

- Rango dinámico.
- FEC.
- Grado de división óptica.
- Perdida de inserción.
- Número de empalmes y tipo.
- Longitud del tendido de fibra.

FIGURA N° 70  
PRESUPUESTO ÓPTICO



Fuente: (Council, 2015).

Formula de cálculo atenuación total:

$$\begin{aligned}
 & \textit{Atenuaci\`on total} \\
 & = (\textit{Atenuaci\`on Sppliter 1} + \textit{Atenuaci\`on Sppliter N}) \\
 & + \left( \textit{Atenuaci\`on} \frac{\textit{Fibra}}{\textit{km}} * \textit{Distancia} \right) + (\textit{Atenuaci\`on empalme} * N) \\
 & + (\textit{Atenuaci\`on conectores} * N)
 \end{aligned}$$

#### 4.10 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE AMITEL S.A.C. PARA LA RED DE ACCESO FTTH.

El sistema debe estar diseñado para ofrecer a sus abonados servicios tripleplay: internet de banda ancha, telefonía y TvIP inmediatamente su despliegue en la zona, y a largo plazo servicio como OTT, VOD, video juegos en línea y otros que le permitan aprovechar al máximo su infraestructura instalada para el cual se debe considerar los siguientes parámetros:

TABLA N° 10  
ANCHO DE BANDA REQUERIDO POR SERVICIO

Item	Servicio	Ancho de banda mínimo	Ancho de banda máximo
01	Internet banda ancha	2Mbps	50Mbps
03	IpTV	4Mbps	40Mbps
04	Telefonía IP	64Kbps	128Kbps

Fuente: Amitel S.A.C.

Elaboración: Propia.

El ancho de banda máximo total para usar los servicios listados es de 100Mbps por abonado.

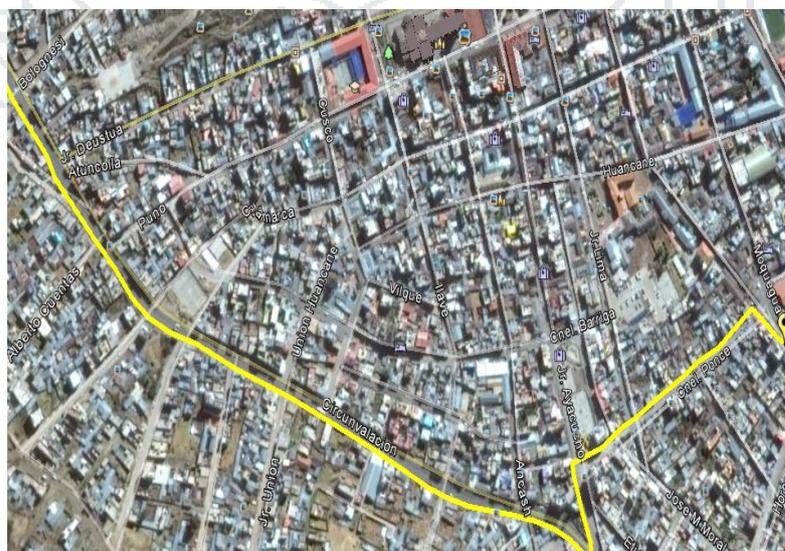
#### 4.11 DESCRIPCIÓN DE PLANTA EXTERNA AMITEL S.A.C.

##### 4.11.1 Red Core de AMITEL S.A.C.

La red Core de Amitel S.A.C está constituido por una red Metro Ethernet denominado red Core CIRCUNVALACION-NORTE que consta de un tendido aéreo de 2.5km de 96 hilos de fibra ADSS SPAM 100 mono modo del estándar ITU-T G.652D.

FIGURA N° 71

RECORRIDO DE RED DE F.O. AMITEL (TRAMO 1) EN LA CIUDAD DE PUNO



Fuente: Imagen Google Earth.

Elaboración: Propia.



#### 4.11.2 Puntos de interconexión red CENTRO NORTE.

Los puntos de interconexión de la red Metro centro norte están dispersos en cuatro puntos cuya ubicación es la siguiente:

TABLA N° 11  
PUNTOS DE INTERCONEXIÓN DEL CENTRO NORTE

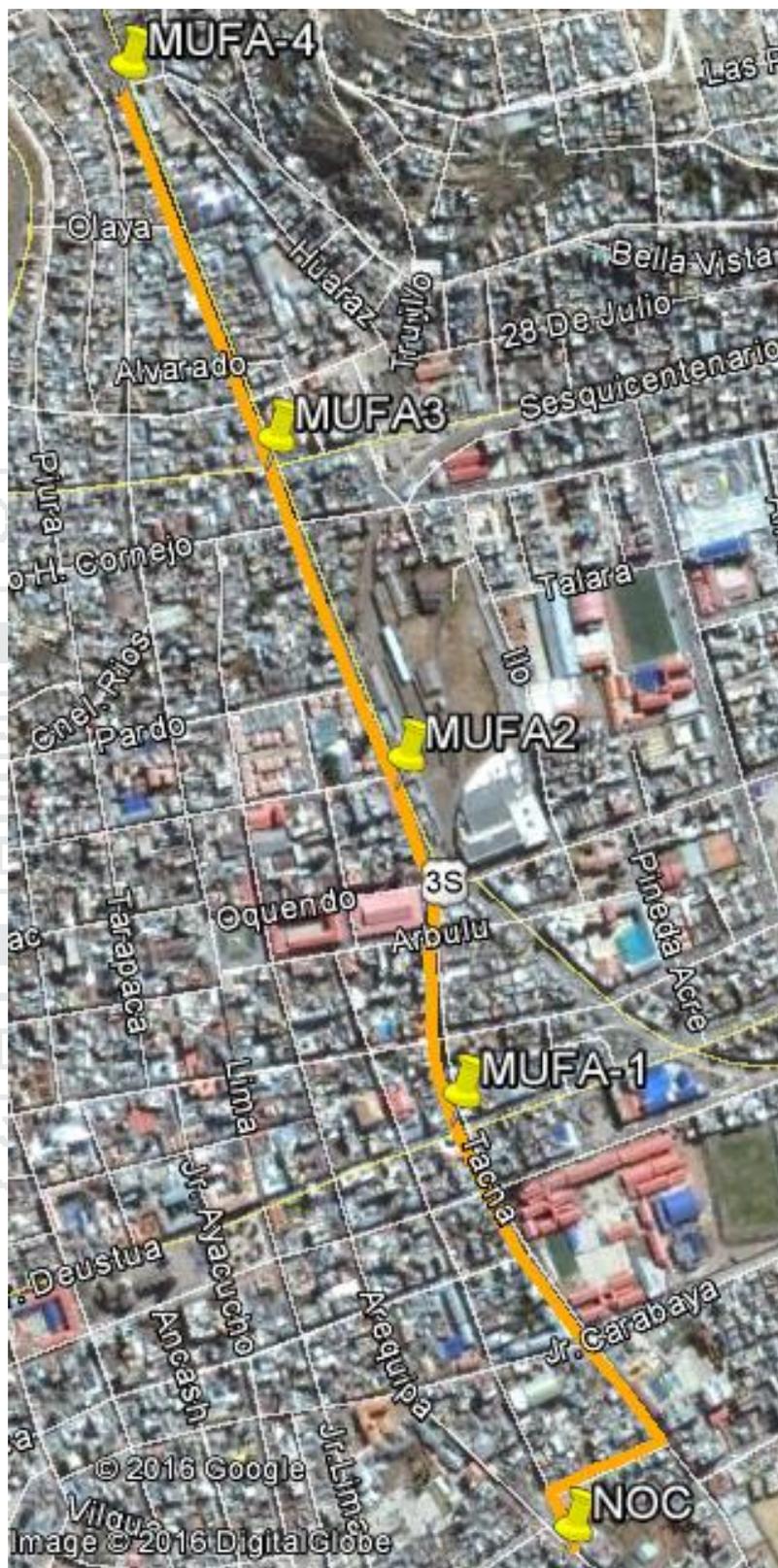
Ítem	Ubicación	Detalle
1	Intersección Jr. Tacna y Jr. Deustua	MUFA-1, distancia desde el NOC 0.6km
2	Intersección Jr. Deza con Jr. Tacna	MUFA-2, distancia desde el NOC 1.0km
3	Intersección Av. Sesquicentenario con con Jr. Tacna	MUFA-3, distancia desde el NOC 1.4km
4	Intersección Jr. Alto de la Alianza con Jr. Tacna	MUFA-4, distancia desde el NOC 1.8km

**Fuente:** Amitel S.A.C.

**Elaboración:** Propia.

FIGURA N° 73

PUNTOS DE INTERCONEXIÓN DEL CENTRO NORTE



Fuente: Imagen Google Earth.

Elaboración: Propia.

#### 4.11.3 Red de alimentación primaria.

La red de alimentación primaria está constituido por fibra ADSS 24 hilos Spam 100 tendido vía aérea usando postes de energía eléctrica de la compañía electro Puno cuyo recorrido se detalla a continuación.

La red parte de la MUFA-3 de la red metro ubicado entre las intersecciones de Jr. Tacna y Av. Sesquicentenario, recorre la Av. Sesquicentenario hasta llegar a la intersección de Jr. Panamá y Jr. Jorge Basadre.

FIGURA N° 74

#### DISEÑO DE RED DE ALIMENTACIÓN PRIMARIA



**Fuente:** Imagen Google Earth.

**Elaboración:** Propia.

El recorrido de la red de alimentación primaria desde el punto inicial al punto final es de 1.5km, cuenta con 4 puntos de interconexión donde se podrá alimentar a la red distribución secundaria según el siguiente detalle:

TABLA N° 12  
RED DE ALIMENTACIÓN PRIMARIA

Ítem	Ubicación	Detalle
1	Intersección Jr. Sesquicentenario y Jr. Gonzales Prada	MUFA-ALIM-1, distancia desde la RED METRO(MUFA-3) 0.30km
2	Intersección Jr. Sesquicentenario y Av. El Sol	MUFA-ALIM-2, distancia desde la RED METRO(MUFA-3) 0.7km
3	Intersección Jr. Sesquicentenario y Jr. Garnica	MUFA-ALIM-3, distancia desde la RED METRO(MUFA-3) 1.2km
4	Intersección Jr. Jorge Basadre y Jr. Panamá	MUFA-ALIM-4, distancia desde la RED METRO(MUFA-3) 1.5km
5	Interconexión Mufa Alimentación 2 con mufa de distribución 1	0.080km
6	Interconexión Mufa Alimentación 3 con mufa de distribución 2	0.12km

Fuente: Amitel S.A.C.

Elaboración: Propia.

#### 4.12 DISEÑO DE RED DE DISTRIBUCIÓN.

De la información obtenida en la recopilación de datos que se tiene los siguiente.

TABLA N° 13  
DISEÑO DE RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA

Ítem	Descripción	Valor
1	Número de casas unifamiliares (SFU)	1200
2	Número de casas multifamiliares (MDU)	100
3	Número de empresas (Pymes)	5

Fuente: Amitel S.A.C.

Elaboración: Propia.

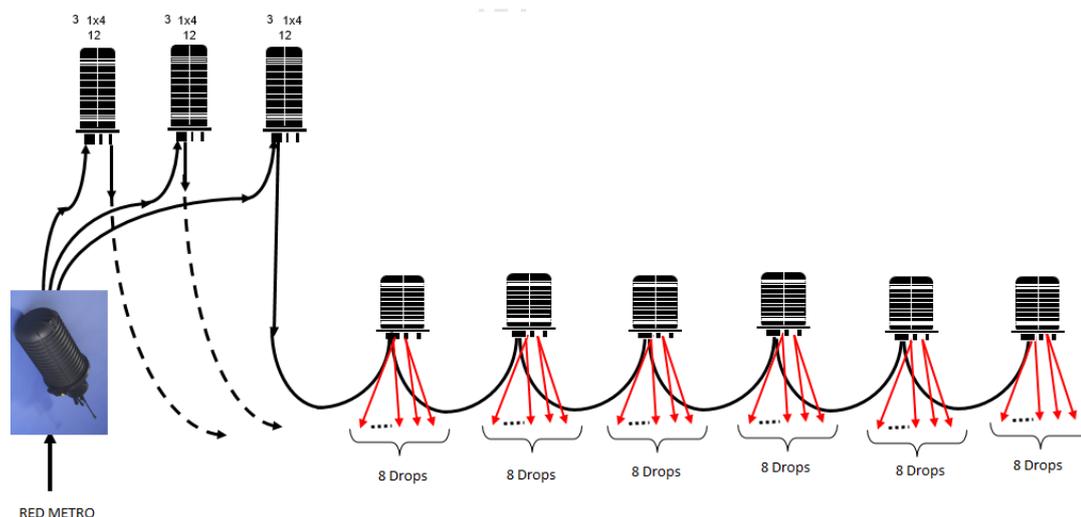
El número total de casas pasadas (posibles abonados) entre SFU y MDU es de 1,500 considerando que existen otras 4 operadoras que competirán por dichos abonados las buenas prácticas en el diseño recomiendan dimensionar al 30% (540 abonados) del total de casas pasadas que podrían contratar los servicios ofrecidos, teniendo en cuenta los siguiente.

- El diseño se realizará siguiendo una topología de árbol y ramas.
- Se evitará en lo posible realizar obra civil utilizándose las infraestructuras eléctricas existentes (postes).
- La red de alimentación primaria deberá tener el doble hilos de fibra requeridos.
- La red de distribución deberá tener el 50% de cables de reserva como fibra oscura.
- Se tendrá 2 niveles de divisores ópticos, en una primera etapa será de 1:4, en una segunda etapa será de 1:8.
- Calculo de divisores ópticos (split) y mufas.
- Cantidad de divisores ópticos  $1 \times 8 = 450/8 = 56.25 = 57$  en la segunda etapa.
- Cantidad de divisores ópticos  $1 \times 4 = 57/4 = 14.25 = 15$  en la primera etapa.

Para la distribución podemos colocar tres bandejas por mufa y en cada bandeja tres divisores de 1x4 con ello tendremos saliendo 3 cables de 12 fibras ópticas que podrán alimentar a 36 NAPs, como requerimos alimentar a 57 NAPs

tendremos 2 mufas de las mismas configuración pudiendo alimentar hasta 72 NAPs.

FIGURA N° 75  
DIVISORES ÓPTICOS



Elaboración: Propia.

De esa manera tendremos una distribución bien distribuida y con menos cables. La fibra óptica deberá ser de 24 hilos de los cuales 12 hilos se usaran en la red de distribución secundaria se agregara 6 hilos como reserva que es el 50% el requerimiento de la norma y se tendrá 6 hilos cable para los abonados de línea dedicada.

Para ubicar las cajas de distribución (NAPs) se utiliza el criterio de distancia (80mt a 100mt) en función a la ubicación de los postes considerando que el cable DROP no cruce las vías.

#### 4.12.1 Calculo ancho de banda por abonado.

Ancho de banda bajada = 2.5Gbps / nivel de Split.

100Mbps = 2.5Gbps / x.

$X = 2500\text{Mbps} / 100\text{Mbps}$ .

$X = 25 \sim 32$ , se requerirá un nivel de split de 1:32.

FIGURA N° 76  
DISEÑO DE LOS DIVISORES ÓPTICOS



**Fuente:** Imagen Google Earth.  
**Elaboración:** Propia.

La primera mufa de distribución estará ubicado en la Av. Sesquicentenario y Jr. Pucara de donde parte el cable-1(24 hilos F.O) que alimentara trece NAPs

en el recorrido de Av. Simón Bolívar, Jr. Los Incas, Psj. Turismo y Jr. 17 de Julio como se muestra en el gráfico.

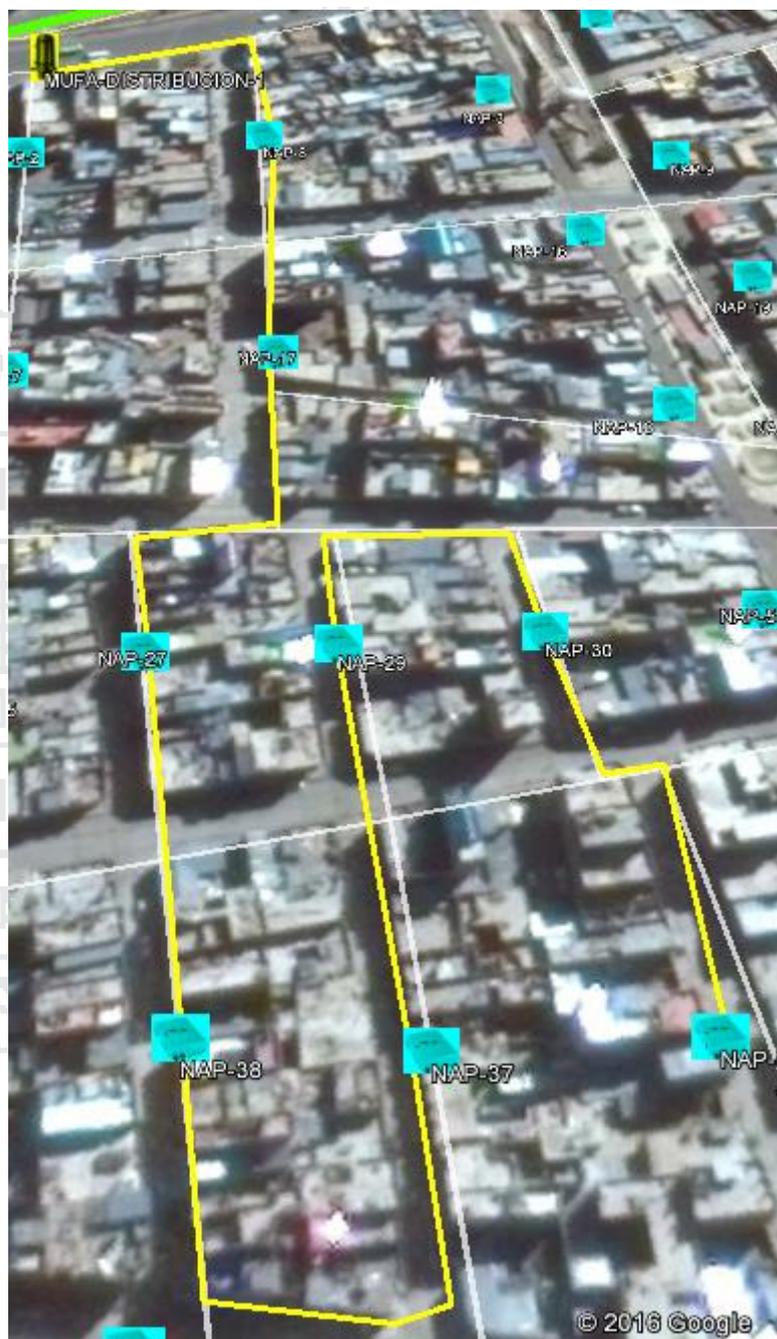
FIGURA N° 77  
UBICACIÓN DE CAJAS E DISTRIBUCIÓN



Fuente: Imagen Google Earth.  
Elaboración: Propia.

El cable-2(24 hilos F.O) que alimentara ocho NAPs recorre en Jr. Pucara, Psj. Turismo y Jr. Pampilla como se muestra en el gráfico.

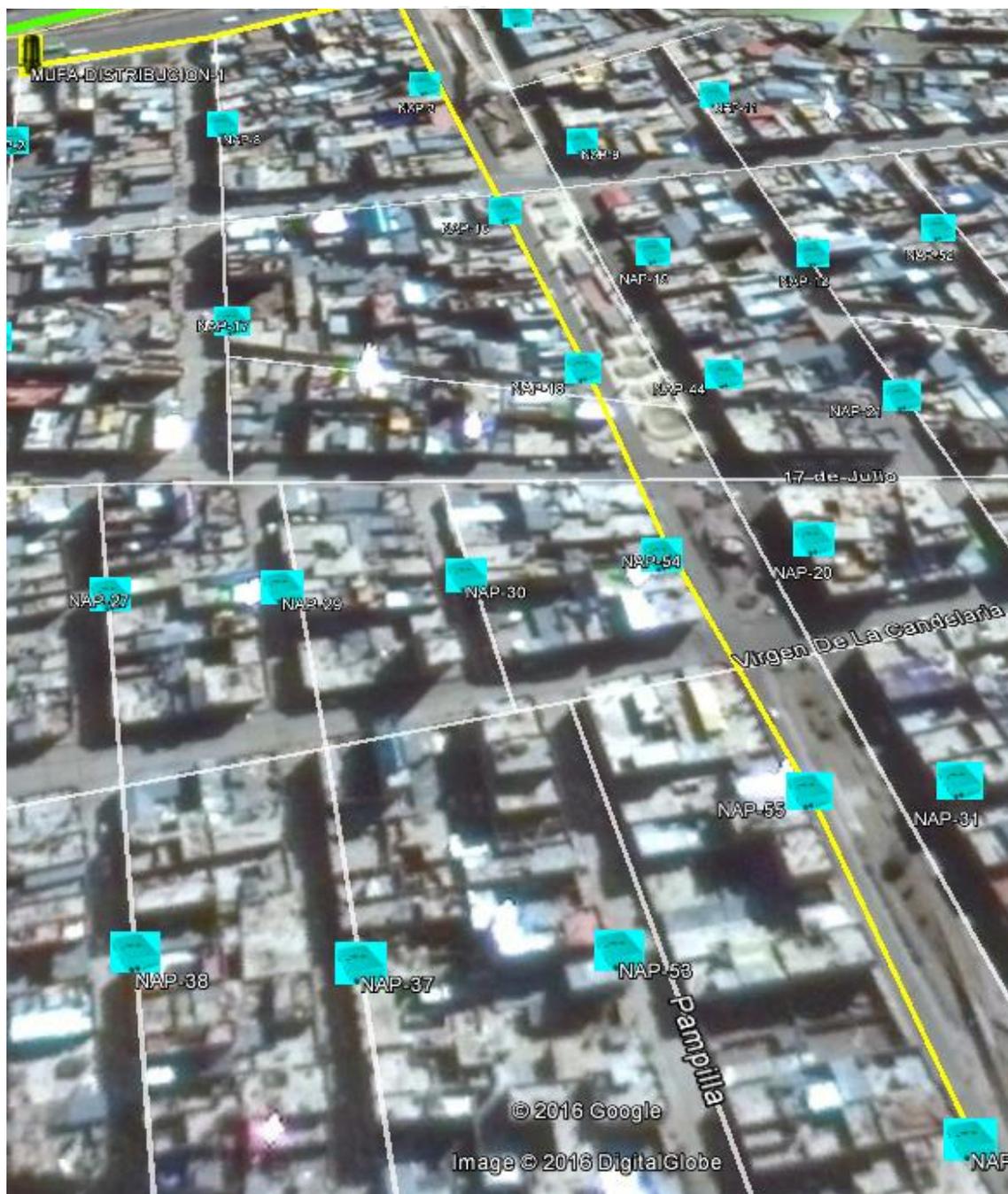
FIGURA N° 78  
CABLE-2 (24 HILOS F.O.)



**Fuente:** Imagen Google Earth.  
**Elaboración:** Propia.

El cable-3(24 hilos F.O) que alimentara seis NAPs recorre la Av. Progreso como se muestra en el gráfico.

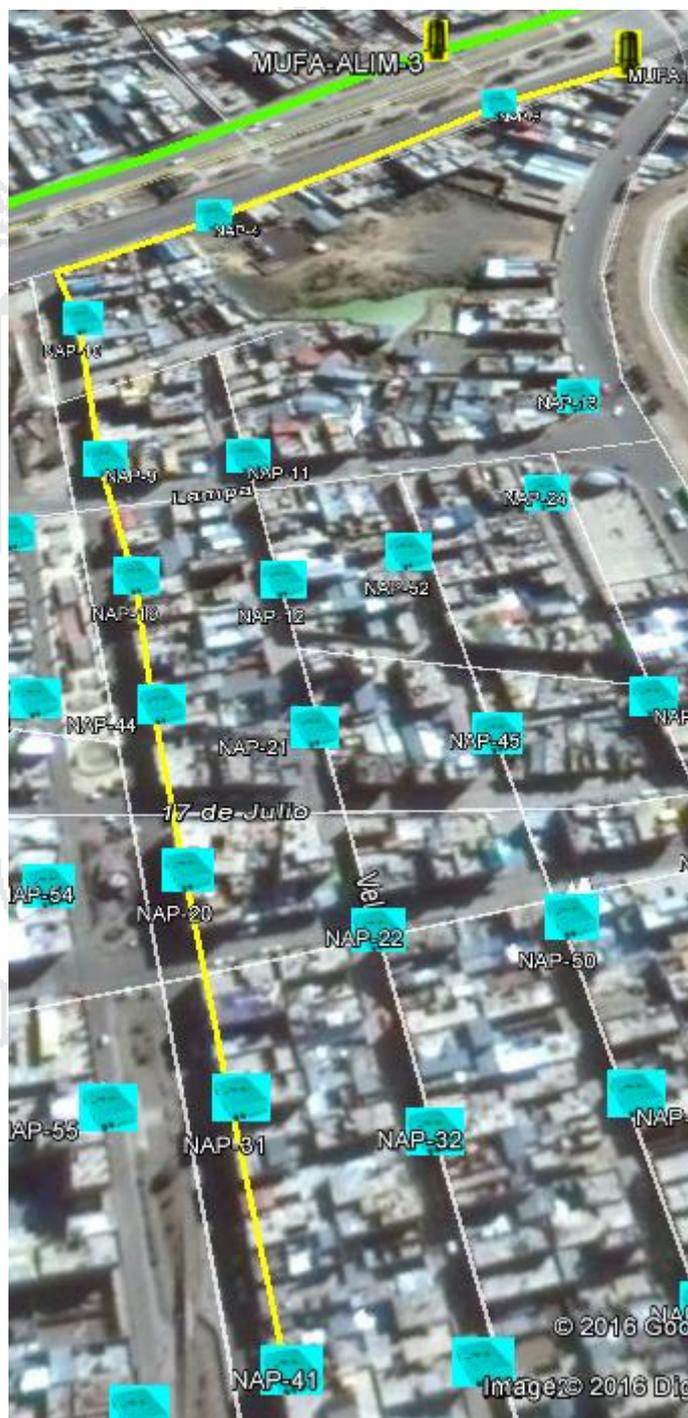
FIGURA N° 79  
CABLE-3(24 HILOS F.O)



Fuente: Imagen Google Earth.  
Elaboración: Propia.

El cable-4(24 hilos F.O) que alimentara nueve NAPs recorre en Av Sesquicentenario, Av. Progreso como se muestra en el gráfico.

FIGURA N° 80  
CABLE-4 (24 HILOS F.O.)



Fuente: Imagen Google Earth.  
Elaboración: Propia.

El cable-5(24 hilos F.O) que alimentara doce NAPs recorre en Av. Costanera, Jr. Vela como se muestra en el gráfico.

FIGURA N° 81  
CABLE-5 (24 HILOS F.O.)



**Fuente:** Imagen Google Earth.  
**Elaboración:** Propia.

El cable-6(24 hilos F.O) que alimentara doce NAPs recorre en Av. Costanera, Jr. Ferrocarril como se muestra en el gráfico.

FIGURA N° 82

CABLE 6 (24 HILOS F.O.)



Fuente: Imagen Google Earth.  
Elaboración: Propia.

En seguida se muestra la red de distribución secundaria completa donde aprecia todas las cajas de distribución alimentadas.

FIGURA N° 83  
RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA



Fuente: Imagen Google Earth.  
Elaboración: Propia.

#### 4.12.2 Elementos red de distribución secundaria.

TABLA N° 14

##### ELEMENTOS DE RED DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA

Ítem	Descripción	Med.	Cant.
1	Cajas de distribución – NAPS	Unid	58
2	Divisor Óptico 1x4 SPPLIT	Unid	15
3	Divisor Óptico 1x8 SPPLIT	Unid	58
4	Mufa de distribución con 3 bandejas y 6 tomas.	Unid	2
5	F.O 24 hilos ADSS G.652D-Red de distribución secundaria ruta-1	Km	1
6	F.O 24 hilos ADSS G.652D-Red de distribución secundaria ruta-2	Km	0.85
7	F.O 24 hilos ADSS G.652D-Red de distribución secundaria ruta-3	Km	0.52
8	F.O 24 hilos ADSS G.652D-Red de distribución secundaria ruta-4	Km	0.62
9	F.O 24 hilos ADSS G.652D-Red de distribución secundaria ruta-5	Km	0.95
10	F.O 24 hilos ADSS G.652D-Red de distribución secundaria ruta-6	Km	0.85

Elaboración: Propia.

#### 4.12.3 Definición de la red Drop o Acometida.

La red Drop es la red que parte de la caja de distribución (NAP) hasta la roseta óptica instalado en el abonado, las consideraciones son:

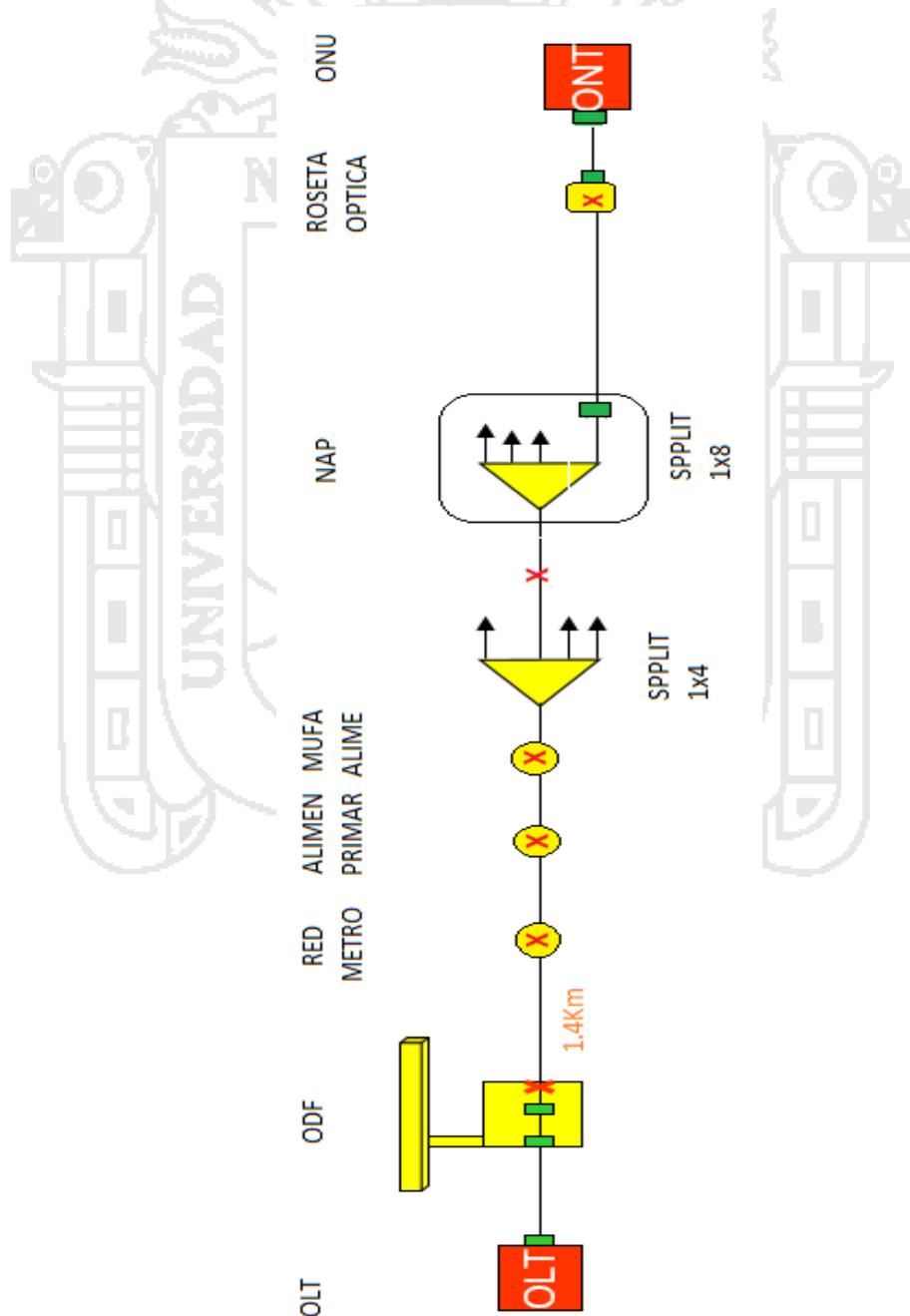
- Cable óptico de 2 hilos DROP estándar G.657A.
- Distancia máxima según ubicación de NAPs, 250 metros.
- Se utilizará en el extremo del abonado pigtail conectorizado por fusión.
- Se utilizará patchcord de 2 metros para conectar la roseta óptica con la ONU.

#### 4.12.4 Presupuesto Óptico.

Para el cálculo del presupuesto óptico tomaremos en cuenta el siguiente diagrama, donde podemos observar que existen 6 conectores y 6 fusiones y se puede apreciar la ruta seguida desde la OLT hasta la ONU del abonado.

FIGURA N° 84

PRESUPUESTO ÓPTICO



Elaboración: Propia.

El resumen del cálculo para el presupuesto óptico es como sigue:

TABLA N° 15

RESUMEN DE CÁLCULO PARA EL PRESUPUESTO ÓPTICO

Item	Descripción	Atenuación dB
1	Ruta-1	22.30
2	Ruta-2	22.25
3	Ruta-3	22.13
4	Ruta-4	22.36
5	Ruta-5	22.47
6	Ruta-6	22.44

Elaboración: Propia.

De los resultados obtenidos se toma el mayor valor que será la atenuación de nuestra ODN diseñada en este caso sería el valor de 22.47dB.

El estándar G.984.2 B+ nos indica que en la ODN se debe tener una atenuación de 13dB como mínimo y 28 dB como máximo considerando una guarda para el diseño de 3dB en el diseño esto sería 25dB como máximo para el diseño.

La ODN diseñada tiene una atenuación de 22.47 por debajo de lo exigido por los estándares, se adjunta en el Anexo I el detalle de los cálculos de presupuesto óptico.

#### 4.13 ELEMENTOS ACTIVOS.

Como recomendación del estándar G.984 los elementos activos deberán ser escalables, modulares, deben soportar redundancia, deberán contar con herramientas de administración y gestión, sobre todo deben tener una completa

interoperabilidad entre distintos fabricantes basados en los estándares ITU G.984, entre las marcas de OLT y ONU carrier class más usados por los operadores que desplegaron la tecnología FTTH y cumplen con lo mencionado en los estándares están Huawei con su OLT modelo MA5600T, u sus ONUs Huawei HG810H, HG8245Hy una variedad de equipos para el abonado, la otra marca usada por los operadores como Telefónica es la marca ZTE que tiene su OLT de modelo ZXA10 C300 y equipos para el abonado como el ZTE F401, ZTE F660, ZTE F460 y mas según la configuración requerida.

Por la facilidad de acceso a la documentación técnica y costos referenciales en este proyecto se usará la marca ZTE, considerando que el diseño de la red ODN es esta limitado al uso de una marca específica ni modelo de equipamiento.

#### **4.13.1 OLT ZTE ZXA10-C300.**

La OLT de marca ZTE modelo ZXA10-C300 es una de los equipos más desplegados en el mundo en la tecnología FTTH usado por grandes operadoras como Telefónica de España sus principales características son:

- Capacidad de Backplane (bps): 3.2Tbps.
- Capacidad de intercambio (bps): 800Gbps.
- Capacidad de direcciones: MAC 512K.
- Intercambio de control principal junta: 2 (principal y de repuesto).
- Tablero de servicio: 14 Slot.

- Ofrece acceso integrado para GPON, EPON, P2P, 10G-EPON, XG-PON1 y TWDM-PON.
- Mayor fiabilidad y protección.
- Proporciona tableros redundancia y hot-swap, soporta tipo B y tipo C protección para PON enlace descendente y RSTP/UAPS/ERPS/LACP para el enlace ascendente.
- Reloj/sincronización de tiempo.
- Proporciona BITS, 1PPS + ToD, IEEE 1588V2 y síncrono.
- Ethernet para entregar tiempo integral y sincronización de reloj.
- Potente capacidad de control de QoS y TDM.
- Soporta tres niveles H-QoS basado en prestatario de servicios, usuario y servicio, proporciona servicio con STM-4 TDM, STM-1, E1 y T1.
- Soporta múltiples maneras de reducir el consumo de energía y cumple, estándares de RoHS.
- Configuración del chasis (19 ").
- Total de 21 ranuras.
- 14 ranuras para tarjetas de línea universal.
- 2 ranuras para tarjetas interruptor y control.
- 2 ranuras para tarjetas de alimentación.
- 2 ranuras para interfaces de enlace ascendente y en cascada.

FIGURA N° 85  
OLT ZTE ZXA10-C300



Fuente: Fotografía OLT ZTE.  
Elaboración: Propia.

4.13.2 ONT (ONU) ZTE-F660.

FIGURA N° 86  
ONT (ONU) ZTE-F660



Fuente: Fotografía ONU ZTE.

Elaboración: Propia

El modelo ZTE F660 es la ONT más popular usado por operadoras por ser de bajo costo y buenas prestaciones sus características principales son:

- Puerto PON: SC/APC totalmente compatible ITU-T G.984.x GPON.
- Puerto Teléfono: RJ 11.
- Puerto LAN: RJ-45 10/100/1000 Base-T Ethernet.
- Wi-Fi: 2.4GHz IEEE802.11b, IEEE802.11g, and IEEE802.11n.

#### 4.13.3 Dimensionamiento OLT.

Se definió dos niveles de división óptica (split) la primera de 1:4 y la segunda de 1:8 para un total de 450 abonados de dónde se obtiene.

- División óptica segundo nivel  $450/8 = 56.25 = 57$ .
- División óptica primer nivel  $57/4 = 14.25 = 15$ .

Del cálculo se puede apreciar que se requiere 15 puertos B+ GPON en la OLT, debido que la OLT es modular los módulos (tarjetas) GPON son tarjetas de 8 puertos se requiere 2 tarjetas habilitadas.

#### 4.14 CALCULO ECONÓMICO DEL DISEÑO.

El estudio económico fue obtenido al 30 de diciembre del 2016 cuyo resumen se muestra a continuación, el detalle de los costos se adjunta en el Anexo II.

TABLA N° 16

## RESUMEN ESTUDIO ECONÓMICO

ITEM	DESCRIPCION	COSTO
1	Materiales red ODN	S/. 130,986.00
2	Equipos Activos	S/. 210,300.00
3	Ferreteria	S/. 13,560.00
4	Mano de obra	S/. 64,220.00
	<b>TOTAL</b>	<b>S/. 419,066.00</b>

Fuente: Amitel S.A.C.

Elaboración: Propia.



## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Las redes de acceso son la parte fundamental para los operadores de telecomunicaciones debido a que transportan los servicios ofrecidos a los abonados por ello se debe diseñar cumpliendo estrictamente los estándares propuestos por las entidades reguladoras, esta práctica nos ayudara que la red diseñada funcione sin problemas a la hora de su implementación.

**SEGUNDA:** La tecnología FTTH es una buena opción para la implementación de redes de acceso debido que usa fibra óptica de extremo a extremo y no tiene elementos activos en medio que puedan causar problema en el tiempo, además se mantendrá vigente tecnológicamente debido que la fibra óptica es un medio de transmisión que a la fecha no tiene remplazo.

**TERCERA:** La aparición de nuevos operadores brindando cada vez un mayor ancho de banda y nuevos servicios exige que los diseñadores de planta externa se mantengan actualizados con nuevas tecnologías para diseñar redes adaptables y convergentes al tiempo. En el diseño se debe considerar la tecnología y medios que ayuden persistir en el tiempo antes que al costo de la tecnología a diseñar.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Es necesario recopilar la mayor cantidad de información acerca de la tecnología en cuestión considerando los estándares vigentes en su última versión y versiones pasadas. Se debe tener en cuenta que muchos de los estándares a un están solo en documentos y no han sido implementados por los fabricantes; si se diseña usando los estándares con versiones más recientes y no está masificado su fabricación de los componentes la implementación será muy cara, caso contrario si se usa estándares de versiones pasadas el diseño implementado puede estar desfasado y no alcanzará las expectativas en la implementación, por ese motivo se recomienda revisar los estándares juntamente con las hojas de datos de los fabricantes para tener una perfecta armonía a la hora de la implementación.

**SEGUNDA:** La tecnología FTTH es la mejor opción para desplegar redes de acceso, pero se debe considerar las limitaciones de la tecnología según los parámetros que exigen los estándares, de esa forma se tendrá un diseño confiable, en su implementación y operación de la red de acceso se recomienda contar con equipos de certificación que ayuden medir los parámetros en cada segmento de la red.

**TERCERA:** Debido a los cambios frecuentes en los servicios y exigencias de la red de acceso es necesario implementar una red escalable, abierta a nuevas tecnologías de bajo costo y sobre todo totalmente independiente de la parte activa, esto ayudara a migrar fácilmente de una tecnología a otra o de una capacidad a otra sin mayores cambios más que en los elementos activos.

## BIBLIOGRAFIA

- Berrio Cataño, A. F. (2016). *FTTx - xPON*. Obtenido de Redes PON (Passive Optical Network): <https://sx-de-tx.wikispaces.com/FTTx++xPON>
- Council, F. (2015). FTTH PROFESIONAL. *CURSO DE CERTIFICACION FTTH* (pág. 340). San Jose Costa Rica: FTTH Council.
- Deluxe, T. (11 de 11 de 2016). *Arquitectura y funcionamiento de las redes GPON*. Obtenido de Telecore: <http://telecorc.blogspot.pe/2014/05/arquitectura-y-funcionamiento.html>
- Fernandez, S. (25 de 11 de 2016). *Proyecto Innovación sobre Fibra y Redes*. Obtenido de <http://fibraoptica.blog.tartanga.net/page/3/>
- Gomez Bossano, M. S., & Morejon Gaibor, A. P. (2012). “*Estudio y diseño de una red de acceso GPON para los servicios de telecomunicaciones triple play (voz, video y datos) en el sector oriental de la ciudad de Riobamba*” (Tesis de Grado). Riobamba-Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Gonzales Barreto, L. M., & Barragan C., J. C. (19 de 11 de 2016). *Redes ópticas pasivas GPON*. Obtenido de <http://redesgpon.blogspot.pe/>
- Hinojosa Gomez , L. C. (2007). *Temas selectos de fibra óptica (Monografía)*. Pachuca-Mexico: Universidad autónoma del estado de Hidalgo.
- López Garcés, A. M., & Macea Ortega, E. F. (1 de 11 de 2014). *sx-de-tx.wikispaces.com*. Obtenido de [sx-de-tx.wikispaces.com](https://sx-de-tx.wikispaces.com/FTTx): <https://sx-de-tx.wikispaces.com/FTTx>

- López Polo, E. D. (2016). *Diseño de una red de fibra optica para la implementación en el servicio de banda ancha en Caishco Ancash (Tesis de Grado)*. Ancash: Universidad de ciencias y humanidades Facultad de ciencias e ingeniería E.A.P. de ingeniería Electrónica con mención en telecomunicaciones.
- Martínez, H. (12 de 12 de 2016). *Sistemas de transmisión por fibra óptica*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos99/principios-fibra-optica/principios-fibra-optica.shtml>
- Pérez Cuenca, A. M. (2012). *Implantación de la red FTTH como alternativa a la red de cobre*. Brasil.
- Prouct, O. F. (01 de 12 de 2016). *Empalme mecanico*. Obtenido de <http://www.ofp3.com/es/productos/conexi%C3%B3n/empalme-mec%C3%A1nico.html>
- Redestelematicas. (05 de 11 de 2012). *redestelematicas*. Obtenido de <http://redestelematicas.com/la-ultima-milla/>
- Rodriguez, A. (9 de Julio de 2013). *instaladoresdetelecomhoy*. Obtenido de <http://www.instaladoresdetelecomhoy.com/divisores-splitters-para-ftth/>
- Santos Pinheiro, J. M. (23 de 04 de 2010). *Proyecto de Redes*. Obtenido de [http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo\\_redes\\_opticas\\_alto\\_desempenho.php](http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_redes_opticas_alto_desempenho.php)

Schnitzler, S. (20 de 11 de 2016). *Fibras ópticas*. Obtenido de <http://www.yio.com.ar/fibras-opticas/empalmes-fibras-opticas.php#top>

Silex Global, Spain S.L. (04 de 12 de 2016). *Conectores de fibra óptica*. Obtenido de <http://silexfiber.com/conectores-fibra-optica/>

Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. J. (2012). *Redes de computadoras*. Naucalpan de Juárez Estado de México: Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana.

Telecom, A. (05 de 02 de 2013). *Fibra óptica- Que es y como funciona*. Obtenido de <http://www.alebentelecom.es/servicios-informaticos/faqs/fibra-optica-que-es-y-como-funciona>

Tinoco Alvear, J. D. (2011). *Estudio y Diseño de una red de fibra óptica FTTH para brindar servicios de voz, video y datos para la urbanización los olivos ubicada el sector Totesol en la parroquia borrero de la ciudad de Azogues*. Cuenca-Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.

Twoway. (01 de 12 de 2015). *twoway*. Obtenido de twoway: [http://www.twoway.com.ar/preguntas\\_frecuentes\\_de\\_redes.html](http://www.twoway.com.ar/preguntas_frecuentes_de_redes.html)

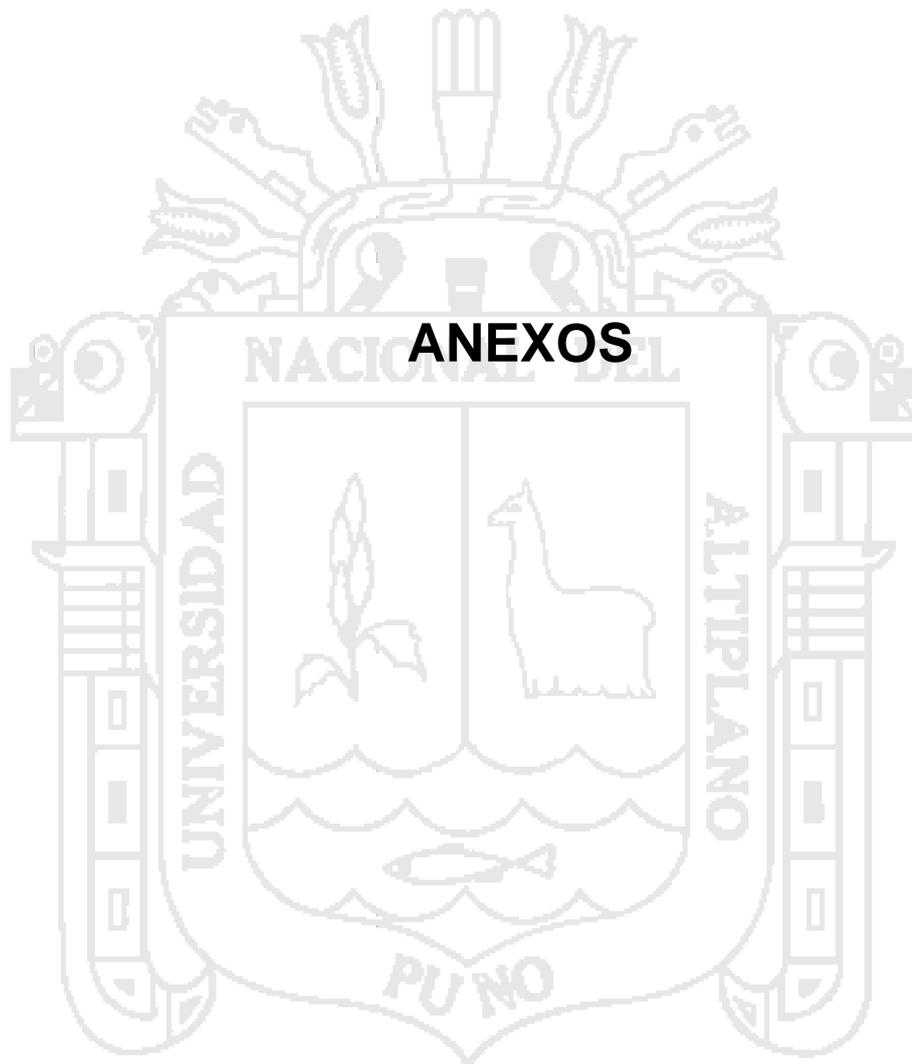
UIT-T, U. I. (2000). *Serie L: Contrucción Instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior (Empalmes de fibra óptica)*. Sector de normalización de las telecomunicaciones de la UIT.

Vargas Garzon, J. W. (19 de 02 de 2012). <http://telecomunicaciones150431.blogspot.pe/>. Obtenido de <http://telecomunicaciones150431.blogspot.pe/>:

<http://telecomunicaciones150431.blogspot.pe/2012/02/cuales-son-las-partes-de-una-red-hfc.html>

ZTE. (2014). FTTH Solution. *FTTH Solution*, 46.





ANEXO N° 01

DETALLE CALCULO DE PRESUPUESTO OPTICO

**Distancia de fibra óptica OLT - ONU usan la red de distribución Ruta-1**

Descripción	Med.	Cantidad
Red Metro	Km	1.4
Red Alimentador Primaria	Km	0.7
Red Alimentador Primaria a red de distribución	Km	0.08
Red de distribución secundaria Ruta-1	Km	1
Cable DROP	Km	0.25
<b>Total (Km)</b>		<b>3.43</b>

**Presupuesto óptico para la red de distribución Ruta-1**

Descripción		Cantidad	Unid Att(dB) Típico	Total Att(dB)
Conector (conectado) ITU671=0.5dB		6	0.50	3.00
Fusión ITU751=0.1db		6	0.10	0.60
Fusión Mecánica ITU 751=0.1dB		0	0.10	0.00
Sppliter		0		0.00
1x2		0	3.50	0.00
1x4		1	7.00	7.00
1x8		1	10.50	10.50
1x16		0	14.00	0.00
1x32		0	17.00	0.00
1x64		0	21.00	0.00
1x128		0	23.00	0.00
Fibra óptica (Km)	1310nm	3.43	0.35	1.20
	1490nm	0	0.30	0.00
	1550nm	0	0.25	0.00
<b>TOTAL (dB)</b>				<b>22.30</b>

**Distancia de fibra óptica OLT - ONU usan la red de distribución Ruta-2**

Descripción	Med.	Cantidad
Red Metro	km	1.4
Red Alimentador Primaria	km	0.7
Red Alimentador Primaria a red de distribución	km	0.08
Red de distribución secundaria Ruta-2	km	0.85
Cable Drop	km	0.25
	<b>Total (Km)</b>	<b>3.28</b>

**Presupuesto óptico para la red de distribución Ruta-2**

Descripción		Cantidad	Unid Att(dB)	Total Att(dB)
			<b>Típico</b>	
Conector (conectado) ITU671=0.5dB		6	0.50	3.00
Fusión ITU751=0.1db		6	0.10	0.60
Fusión Mecánica ITU 751=0.1dB		0	0.10	0.00
Sppliter		0		0.00
	1x2	0	3.50	0.00
	1x4	1	7.00	7.00
	1x8	1	10.50	10.50
	1x16	0	14.00	0.00
	1x32	0	17.00	0.00
	1x64	0	21.00	0.00
	1x128	0	23.00	0.00
Fibra óptica (Km)	1310 nm	3.28	0.35	1.15
	1490 nm	0	0.30	0.00
	1550 nm	0	0.25	0.00
<b>TOTAL (dB)</b>				<b>22.25</b>

**Distancia de fibra óptica OLT - ONU usan la red de distribución Ruta-3**

Descripción	Med.	Distancia
Red Metro	km	1.4
Red Alimentador Primaria	km	0.7
Red Alimentador Primaria a red de distribución	km	0.08
Red de distribución secundaria Ruta-3	km	0.52
Cable DROP	km	0.25
	<b>Total (Km)</b>	<b>2.95</b>

**Presupuesto óptico para la red de distribución Ruta-3**

Descripción		Cantidad	Unid Att(dB) Típico	Total Att(dB)
Conector (conectado) ITU671=0.5dB		6	0.50	3.00
Fusión ITU751=0.1db		6	0.10	0.60
Fusión Mecánica ITU 751=0.1dB		0	0.10	0.00
Sppliter		0		0.00
	1x2	0	3.50	0.00
	1x4	1	7.00	7.00
	1x8	1	10.50	10.50
	1x16	0	14.00	0.00
	1x32	0	17.00	0.00
	1x64	0	21.00	0.00
	1x128	0	23.00	0.00
Fibra óptica (Km)	1310 nm	2.95	0.35	1.03
	1490 nm	0	0.30	0.00
	1550 nm	0	0.25	0.00
<b>TOTAL (dB)</b>				<b>22.13</b>

**Distancia de fibra óptica OLT - ONU usan la red de distribución Ruta-4**

Descripción	Med.	Cantidad
Red Metro	km	1.4
Red Alimentador Primaria	km	1.2
Red Alimentador Primaria a red de distribución	km	0.12
Red de distribución secundaria Ruta-4	km	0.62
Cable DROP	km	0.25
	<b>Total (Km)</b>	<b>3.59</b>

**Presupuesto óptico para la red de distribución Ruta-4**

Descripción		Cantida d	Unid Att(dB) Típico	Total Att(dB)
Conector (conectado) ITU671=0.5dB		6	0.50	3.00
Fusión ITU751=0.1db		6	0.10	0.60
Fusión Mecánica ITU 751=0.1dB		0	0.10	0.00
Sppliter		0		0.00
	1x2	0	3.50	0.00
	1x4	1	7.00	7.00
	1x8	1	10.50	10.50
	1x16	0	14.00	0.00
	1x32	0	17.00	0.00
	1x64	0	21.00	0.00
	1x128	0	23.00	0.00
Fibra óptica (Km)	1310n m	3.59	0.35	1.26
	1490n m	0	0.30	0.00
	1550n m	0	0.25	0.00
<b>TOTAL (dB)</b>				<b>22.36</b>

**Distancia de fibra óptica OLT - ONU usan la red de distribución Ruta-5**

Descripción	Med.	Cantidad
Red Metro	km	1.4
Red Alimentador Primaria	km	1.2
Red Alimentador Primaria a red de distribución	km	0.12
Red de distribución secundaria Ruta-5	km	0.95
Cable DROP	km	0.25
<b>Total (Km)</b>		<b>3.92</b>

**Presupuesto óptico para la red de distribución ruta-5**

Descripción		Cantidad	Unid Att(dB)	Total Att(dB)
			<b>Típico</b>	
Conector (conectado) ITU671=0.5dB		6	0.50	3.00
Fusión ITU751=0.1db		6	0.10	0.60
Fusión Mecánica ITU 751=0.1dB		0	0.10	0.00
Sppliter		0		0.00
1x2		0	3.50	0.00
1x4		1	7.00	7.00
1x8		1	10.50	10.50
1x16		0	14.00	0.00
1x32		0	17.00	0.00
1x64		0	21.00	0.00
1x128		0	23.00	0.00
Fibra óptica (Km)	1310nm	3.92	0.35	1.37
	1490nm	0	0.30	0.00
	1550nm	0	0.25	0.00
<b>TOTAL (dB)</b>				<b>22.47</b>

**Distancia de fibra óptica OLT - ONU usan la red de distribución Ruta-6**

Descripción	Med.	Cantidad
Red Metro	Km	1.4
Red Alimentador Primaria	Km	1.2
Red Alimentador Primaria a red de distribución	Km	0.12
Red de distribución secundaria Ruta-6	Km	0.85
Cable DROP	Km	0.25
<b>Total (Km)</b>		<b>3.82</b>

**Presupuesto óptico para la red de distribución ruta-6**

Descripción		Cantidad	Unid Att(dB)	Total Att(dB)
			<b>Típico</b>	
Conector (conectado) ITU671=0.5dB		6	0.50	3.00
Fusión ITU751=0.1db		6	0.10	0.60
Fusión Mecánica ITU 751=0.1dB		0	0.10	0.00
Sppliter		0		0.00
1x2		0	3.50	0.00
1x4		1	7.00	7.00
1x8		1	10.50	10.50
1x16		0	14.00	0.00
1x32		0	17.00	0.00
1x64		0	21.00	0.00
1x128		0	23.00	0.00
Fibra óptica (Km)	1310nm	3.82	0.35	1.34
	1490nm	0	0.30	0.00
	1550nm	0	0.25	0.00
<b>TOTAL (dB)</b>				<b>22.44</b>

ANEXO N° 02

DETALLE DE COSTOS

**Costo elementos ODN**

ITEM	DESCRIPCION	MEDIDA	CANTIDAD	UNIT S/.	TOTAL S/.
1	Fibra optica SM ADSS SPAM 100 24 hilos G.652D	METROS	8000	9.1	S/. 72,800.00
2	Cajas de distribución – NAPS 16 salidas con el ingreso de la fibra sin cortarlo, fijacion para poste equipada con 2 PLC splitter 1*8 con connector SC/APC, 16 acopladores SC/APC	UNID	58	250	S/. 14,500.00
3	Cable Fibra óptica DROP 2 hilos G.657A	METROS	2000	1.2	S/. 2,400.00
	Roseta óptica equipada con 1 pigtail	UNID	450	36	S/. 16,200.00
3	Conector prepulido connect SC/APC	UNID	450	16	S/. 7,200.00
4	PatchCord SC/SC APC SIMPLEX 2mt	UNID	450	23	S/. 10,350.00
5	Divisor Óptico 1x4 SPPLIT	UNID	15	75	S/. 1,122.00
6	Divisor Óptico 1x8 SPPLIT	UNID	58	103	S/. 5,974.00
7	Mufa de distribución con 3 bandejas y 6 tomas.	UNID	2	220	S/. 440.00
<b>TOTAL</b>					<b>S/. 130,986.00</b>

**Costo Equipamiento activo**

ITEM	DESCRIPCION	MEDIDA	CANTIDAD	UNIT S/.	TOTAL S/.
1	OLT ZTE C300 GPON con 2 tarjetas controladoras SCXM , 2 PRWG tarjetas de fuente; 1 GUFQ tarjeta Uplink ; 2 tarjetas GPON 8ports GTGO con 8 modulos	UNID	1	72600	S/. 72,600.00
2	GPON ONU para FTTH 4LAN+2VOICE+WIFI F660	UNID	450	306	S/. 137,700.00
					<b>S/. 210,300.00</b>

**Ferretería**

ITEM	DESCRIPCION	MEDIDA	CANTIDAD	UNIT S/.	Total /S.
3	Clevis	UNIDAD	400	S/.5.00	S/.2,000.00
4	Aislador Ceramico	UNIDAD	400	S/.3.60	S/.1,440.00
5	Preformado Azul	UNIDAD	200	S/.15.00	S/.3,000.00
6	Cinta Band-it 1/2 Caja de 100 mt	UNIDAD	15	S/.120.00	S/.1,800.00
7	Hebilla Band-It 1/2 Caja de 100 unid	UNIDAD	9	S/.140.00	S/.1,260.00
8	Cruceta de reserva	UNIDAD	58	S/.70.00	S/.4,060.00
					<b>S/.13,560.00</b>

**Costo de servicios**

ITEM	DESCRIPCION	MEDIDA	CANTIDAD	UNIT S/.	TOTALS/.
1	Tendido de fibra óptica SM x Aereo	METROS	8000	3.2	S/. 25,600.00
2	Empalme de fibra optica SM	UNID	160	85	S/. 13,600.00
3	Instalar Caja de distribución	UNID	58	15	S/. 870.00
3	Instalar Mufa	UNID	2	75	S/. 150.00
4	Documentación	UNID	1	1500	S/. 1,500.00
5	Certificacion OTDR / IOLM	UNID	450	50	S/. 22,500.00
					<b>S/. 64,220.00</b>



ANEXO N° 03

PLANOS AUTOCAD DEL DISEÑO DE LA RED FTTH



## PLANOS

Lamina 001: Diagrama unifilar

Lamina 002: Red de distribución

Lamina 003: Red GPON

