

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**  
**FACULTAD DE TECNOLOGIA**  
**CARRERA: ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES**



**NIVEL LICENCIATURA**  
**EXAMEN DE GRADO**  
**TRABAJO DE APLICACION**

**"DISEÑO DE UNA RED GPON PARA LOS ROSALES DE ACHUMANI DEL  
MUNICIPIO DE LA PAZ EN BASE A LOS REQUERIMIENTOS DE ENTEL"**

**Postulante: Juan Carlos Copa Merlo**

**La Paz- Bolivia**

**2016**

## **DEDICATORIA**

A mi madre Vicenta Merlo, por su apoyo incondicional y sus sabios consejos, a mis hermanos José, Diego, Marco, y Nancy Wendy Pablo Silvia por su comprensión y complicidad, a mis sobrinos y al resto de la familia.

A todos quienes me brindaron su apoyo incondicionalmente en el tiempo de universidad y de al salir egresado, a todas las personas que insistieron en lograr mis objetivos y de alguna forma ejercieron presión ante mí para el día de hoy estar aquí.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer en primer lugar a Dios quien es quien me brinda la grandeza de estar vivo, a los docentes de la Facultad de Tecnología por brindarme sus conocimientos y experiencias inapreciables para mí.

Al grupo de amigos de la carrera, Jorge, Ronald, Mario, Ronald Carlos, Mery, Marco, Vladimir, con quienes más he convivido a lo largo de estos cinco años de estudio y me apoyaron en momentos difíciles.

## RESUMEN DEL TRABAJO

El presente trabajo de aplicación corresponde al diseño de una red gpon de fibra óptica, en la zona de Los Rosales de Achumani, ubicada en la zona sur de nuestra ciudad de La Paz.

Una red Gpon, (Gigabit Passive Optical Networks) (ITU G.984) consiste en un esquema de transmisión de punto a multipunto y punto a punto en sentido ascendente, soportando innovadoras velocidades de transmisión, proporcionando varios servicios a través del mismo medio, la fibra óptica, en una topología de red árbol, una empresa de telecomunicaciones puede llegar a cubrir una determinada zona.

El trabajo de aplicación corresponde al diseño de la red Gpon para la zona de Los Rosales de Achumani, considerando que ENTEL S.A se encuentra en plena etapa de cobertura con esta tecnología en nuestro país, propondremos un diseño considerando parámetros técnicos y tratando siempre de optimizar al máximo la red y considerando los materiales con los que dicha empresa cuenta. Para el efecto consideraremos el nodo existente Entel ubicado en la Zona Los Rosales, en el cual deberemos incorporar dos gabinetes correspondientes al equipo OLT y la bandeja terminal de fibra óptica ODF, debemos considerar q estos se encuentren lo más próximo posible debido a que deberemos interconectar a estos dos por medio de Patch Cord de fibra óptica, consideramos una cámara de distribución la cual deberá ser ubicada en un punto el cual nos permita derivar de manera eficiente todos los cables ramales que deberán convergir en este punto, para que desde ahí se realice el ingreso al nodo con una fibra óptica de mayor capacidad de filamentos 120 fibras, a partir de la cámara se considera el extendido de fibra óptica de 24 filamentos, estos distribuidos como una troncal, ramales y sub-ramales, determinaremos puntos de distribución de abonados en los cuales se deberá instalar un terminal Nap en el cual al instalar un splitter de 1:4 (primer nivel de división optica) seguido a continuación de un splitter de 1:16 (segundo nivel de

División óptica) que corresponde a los puertos disponibles para los usuarios finales para un determinada porción de la zona. De esta forma obtendremos 64 usuarios por filamento de fibra además dejaremos hilos de reservas para futuras ampliaciones, lo cual al tener una fibra de salida de nodo cámara de distribución de 120 es muy factible, a partir del terminal Nap, las instalaciones se realizaran a través de fibra bifilar ( cable drop), el cual interconectara el terminal Nap, con la roseta (terminal de usuario final) el cual deberá ser instalado en predios del usuario y este es conectado a través de un patch de fibra óptica al equipo terminal de usuario ONT u ONU para desde este punto el usuario acceder al servicio.

## INDICE DE CONTENIDO

<b>CAPITULO I</b> .....	<b>12</b>
<b>ANTECEDENTES DEL PROYECTO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....	12
1.2.2 OBJETIVO ESPECIFICO.....	13
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>13</b>
1.3.1 TECNOLÓGICA .....	13
1.3.2 SOCIAL .....	14
1.3.3 ACADÉMICA .....	14
<b>1.4 DELIMITACIÓN</b> .....	<b>15</b>
1.4.1 TEMÁTICA .....	15
1.4.2 ESPACIAL.....	15
1.4.3 TEMPORAL.....	15
<b>1.5 METODOLOGÍA</b> .....	<b>15</b>
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>16</b>
<b>MARCO TEORICO</b> .....	<b>16</b>
2.1 INTRODUCCION A REDES GPON.....	16
2.1.1 HISTORIA DE LAS REDES PON .....	16
2.2 GPON (REDES ÓPTICAS PASIVAS GIGABIT) .....	16
2.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR GPON .....	18
2.2.1.1 WDM (WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING) .....	19
2.2.2 RECOMENDACIONES UIT PARA REDES GPON .....	20
2.2.2.1 UIT-T G.984.1 .....	20
2.2.2.2 UIT-T G.984.2 .....	22
2.2.2.3 UIT-T G.984.3 .....	24
2.2.2.4 UIT-T G.984.4 .....	24
2.2.2.5 UIT-T G.984.5 .....	25
2.2.3 TECNOLOGÍAS Y PROTOCOLOS EN REDES GPON .....	25
2.2.3.1 ASIGNACIÓN DINÁMICA DE ANCHO DE BANDA DBA (DYNAMIC BANDWIDTH ALLOCATION).....	26
2.2.3.2 ATM ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE.....	27
2.2.3.2.1 CELDA ATM.....	28
2.2.3.3 GEM GPON ENCAPSULATION METHOD .....	30
2.2.3.4 PROTOCOLO OMCI .....	33
2.2.4 TRAMA DE BAJADA GPON .....	34
2.2.5 TRAMA DE SUBIDA GPON.....	37

2.2.6 SEGURIDAD .....	39
2.2.6.1 FEC FORWARD ERROR CORRECTION .....	39
2.2.6.2 AES ADVANCED ENCRYPTION STANDARD.....	40
2.3 INTRODUCCION A REDES FTTX .....	41
2.3.1 TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN FTTX .....	42
2.3.4 RED DE ACCESO AL USUARIO FTTH .....	43
2.4.1 Red ODN (Optical Distribution Network).....	44
2.4.1.1 RED DE FIBRA ÓPTICA.....	44
2.4.1.2 DIVISOR ÓPTICO PASIVO SPLITTER .....	47
2.4.1.3 ODF (OPTICAL DISTRIBUTION FRAME).....	49
2.4.1.4 MUFAS O MANGAS .....	49
2.4.1.5 CONECTORES .....	50
2.4.1.5 EMPALMES DE FIBRA OPTICA .....	52
2.4.2 OLT OPTICAL LINE TERMINATION .....	52
2.4.3 ONT OPTICAL NETWORK TERMINATION .....	54
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>56</b>
<b>DESARROLLO DEL TRABAJO.....</b>	<b>56</b>
3.1 SITUACIÓN DE ENTEL S.A .....	56
3.2 SITUACIÓN DE LA ZONA LOS ROSALES DE ACHUMANI.....	57
3.2.1 ÁREA DE COBERTURA DE LA RED.....	58
3.2.2 DEMANDA DE LA RED GPON EN LOS ROSALES DE ACHUMANI .....	59
3.3 DISEÑO DE LA RED GPON .....	59
3.3.1 ESQUEMA DE RED GPON A UTILIZAR.....	60
3.3.2 TIPO DE DISTRIBUCIÓN A USAR.....	60
3.3.3 RED DE ACCESO AL USUARIO.....	62
3.3.3.2 ROSETA DE USUARIO FINAL .....	63
3.3.4 TOPOLOGÍA DE RED DE ACCESO AL USUARIO .....	63
3.3.5 ELEMENTOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO .....	64
3.3.6 ELEMENTOS DE LA RED GPON DEL DISEÑO.....	65
3.3.6.1 NODO OPTICO Y SUS ELEMENTOS.....	65
3.3.6.1.1 RACK.....	67
3.3.6.1.2 EQUIPO OLT (OPTICAL LINE TERMINAL) .....	67
3.3.6.1.3 ODF BANDEJA DE DISTRIBUCION DE FIBRA OPTICA .....	69
3.3.6.1.4 PATCH CORDS .....	70
3.3.6.2DISEÑO DE LA RED ODN Y ELEMENTOS QUE LA CONFORMAN .....	70
3.3.6.2.1 CÁMARA SUBTERRÁNEA DE DISTRIBUCIÓN Y MUFLA DE EMPALME .....	71
3.3.6.2.2 UBICACIÓN DE DIVISORES ÓPTICOS (SPLITTERS) .....	72
3.3.6.2.2.1 ATENUACIÓN DE SPLITTER ÓPTICO.....	73
3.3.6.2.2.2 CANTIDAD DE DIVISORES ÓPTICOS A UTILIZAR .....	75
3.3.6.2.2 TIPO DE FIBRA ÓPTICA.....	75
3.3.6.2.2.1 ATENUACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA .....	77
3.3.6.2.3 CONECTORES TIPO SC.....	77
3.3.6.2.3.1 ATENUACIÓN DE CONECTORES SC/APC.....	78
3.3.6.2.4 EMPALMES .....	79
3.3.6.2.4.1 EMPALMES POR FUSIÓN .....	79
3.3.6.2.4.2 EMPALMES MECÁNICOS .....	79

3.3.6.2.5 DISEÑO DE LA RED DE PLANTA EXTERNA .....	80
3.3.6.2.5.1 MATERIALES DE INSTALACIÓN DE TENDIDO AÉREO DE FIBRA ÓPTICA .....	83
3.3.6.2.6 ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN MEDIANTE DIVISORES ÓPTICOS.....	83
3.3.6.3 ONT (OPTICAL NETWORK TERMINAL) .....	85
3.3.7 CÁLCULOS DEL DISEÑO. ....	86
3.3.7.1 LONGITUD MÁXIMA DE LA FIBRA ÓPTICA .....	87
3.3.7.2 PRESUPUESTO ÓPTICO .....	88
3.3.7.2 CALCULO DE POTENCIAS MÍNIMAS ENLACES DE BAJADA Y SUBIDA .....	90
3.3.7.3.1 CALCULO DE ANCHO DE BANDA.....	91
3.3.7.3.2 VELOCIDAD DISPONIBLE POR USUARIO.....	93
3.3.8 SIMULACIÓN DEL DISEÑO .....	93
3.3.8.1 ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN .....	94
3.3.8.2 DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN.....	96
3.4 COMPARACION DE DATOS TEORICOS Y DATOS OBTENIDOS EN SIMULACION .....	97
3.5 ANÁLISIS DE COSTOS .....	98
3.5.1 COSTE DE MATERIALES DE PLANTA INTERNA Y EQUIPOS .....	98
3.5.2 COSTOS DE MATERIALES DE INSTALACIÓN DE FIBRA OPTICA AÉREA.....	100
3.5.3 COSTE DEL SERVICIO DE INSTALACIÓN.....	100
3.5.4 COSTO TOTAL DE LA RED GPON .....	102
3.5.5 ESTIMACION DE INGRESOS.....	102
3.6 DEMOSTRACION DEL TRABAJO DE APLICACION .....	104
3.6.1 OBJETIVOS DE LA DEMOSTRACIÓN .....	104
3.6.2 MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS .....	105
3.6.3 DESARROLLO DE LA DEMOSTRACION.....	105
3.6.3 ENLACE DE BAJADA .....	106
3.6.4 ENLACE DE SUBIDA.....	107
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>111</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>111</b>
4.1 CONCLUSIONES .....	111
4.2 RECOMENDACIONES .....	111
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>114</b>
ANEXO 1: PLANO CATASTRAL DEL DISEÑO DE LA RED .....	114
ANEXO 2: CARACTERISTICAS POWER METER.....	115
ANEXO 3: FUENTE DE LUZ FLS-600 EXFO.....	115
ANEXO 4: INFORMES IOLM Y OTDR .....	116



## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ESTRUCTURA DE RED PON.....	18
FIGURA 2: TÉCNICA WDM.....	19
FIGURA 3: TRANSPORTE EN UNA RED GPON .....	26
FIGURA 4: JERARQUÍA DE ATM.....	28
FIGURA 5: CABECERA ATM UNI .....	30
FIGURA 6: CABECERA ATM NNI .....	30
FIGURA 7: ESTRUCTURA DE LA TRAMA GEM.....	32
FIGURA 8: CABECERA GEM.....	33
FIGURA 9: TRAMA GPON DE BAJADA .....	35
FIGURA 10: ESTRUCTURA DEL MAPA US BW .....	36
FIGURA 11: EJEMPLO DEL MAPA US BW.....	37
FIGURA 12: FORMATO TRAMA DE SUBIDA.....	38
FIGURA 13: TECNOLOGÍAS USADAS EN FTTH.....	42
FIGURA 14: ARQUITECTURA FTTH.....	43
FIGURA 15: ELEMENTOS DE UNA RED GPON.....	44
FIGURA 16: CABLES DE FIBRA OPTICA.....	45
FIGURA 17: DIVISOR ÓPTICO SPLITTER.....	47
FIGURA 18: MANGAS DE EMPALME .....	49
FIGURA 19: TIPOS DE CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA .....	50
FIGURA 20: PARTES DE UNA OLT.....	54
FIGURA 21: RED METRO ETHERNET DE ACCESO A LA NUBE DE ENTEL.....	56
FIGURA 22: ÁREA DE COBERTURA GEOGRÁFICA ZONA LOS ROSALES DE ACHUMANI .....	58
FIGURA 23: ESQUEMA GPON A UTILIZAR.....	60
FIGURA 24: NIVELES DE DISTRIBUCIÓN ÓPTICA .....	61
FIGURA 25: TOPOLOGÍAS DE ACCESO EMPLEADAS POR ENTEL .....	62
FIGURA 26: CABLE DROP.....	63
FIGURA 27: ROSETA DE USUARIO FINAL .....	63
FIGURA 28: TOPOLOGÍA DE RED DE ACCESO AL USUARIO FTTH .....	64
FIGURA 29: TOPOLOGÍA DEL DISEÑO.....	65
FIGURA 30: UBICACIÓN DE OLT.....	66
FIGURA 31: FOTOGRAFÍA EXTERIOR DE RBS. LOS ROSALES ENTEL .....	66
FIGURA 32: RACK A INSTALAR EN NODO OPTICO .....	67
FIGURA 33: OLT HUAWEI .....	68
FIGURA 34: BANDEJA DE DISTRIBUCIÓN DE FIBRA ÓPTICA .....	69
FIGURA 35: PATCH CORDS.....	70
FIGURA 36: UBICACIÓN DE CÁMARA DE DISTRIBUCIÓN .....	71
FIGURA 37: MANGA DE DISTRIBUCIÓN.....	71
FIGURA 38: DIVISORES ÓPTICOS CONSIDERADOS EN DISEÑO.....	72
FIGURA 39: TERMINAL NAP (NETWORK ACCES POINT).....	73
FIGURA 40: PUNTOS DE ACOMETIDA A ABONADOS .....	74
FIGURA 41: FIBRA ÓPTICA MONOMODO ITU-T G.652 .....	76
FIGURA 42: CONFIGURACIÓN DE FIBRA ÓPTICA EN EL DISEÑO.....	76
FIGURA 43: PARÁMETROS TÉCNICOS DE FIBRA ÓPTICA HUAWEI .....	77

FIGURA 44: ACOPLA Y CONECTOR SC/APC.....	78
FIGURA 45: PERDIDA POR CONECTOR .....	78
FIGURA 46: DISEÑO DE RUTAS DE FIBRA ÓPTICA CON POSTACIÓN .....	81
FIGURA 47: DISEÑO DE RUTAS.....	82
FIGURA 48: ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE RED.....	84
FIGURA 49: EQUIPO ONT GIGABIT ETHERNET .....	85
FIGURA 50: ELEMENTOS DE LA RED GPON.....	87
FIGURA 51: RANGO DE ATENUACIÓN SEGÚN CLASE DE RED .....	89
FIGURA 52: WDM TRANSMITTER .....	94
FIGURA 53: SPLITTER.....	94
FIGURA 54: ONU .....	95
FIGURA 55: OPTICAL POWER METER .....	95
FIGURA 56: OPTICAL SPECTRUM ANALYZER.....	95
FIGURA 57: ELEMENTOS DE SIMULACIÓN .....	96
FIGURA 58: RESULTADO OBTENIDO CON POWER METER PMIN EN ONT BAJADA.....	96
FIGURA 59: RESULTADO OBTENIDO CON POWER METER PMIN OLT SUBIDA.....	96
FIGURA 60: RESULTADO OBTENIDO EN BAJADA CON ANALIZADOR DE ESPECTROS.....	97
FIGURA 61 MONTAJE DE ELEMENTOS DE LA DEMOSTRACIÓN .....	105
FIGURA 62: ENLACE DE BAJADA .....	106
FIGURA 63 ENLACE DE SUBIDA.....	107

## INDICE DE TABLAS

TABLA1: REQUERIMIENTOS DE SERVICIOS GPON.....	21
TABLA 2: ESPECIFICACIONES DE LA CAPA DEPENDIENTE DEL MEDIO FÍSICO.....	22
TABLA 3: DISTANCIAS MÁXIMAS.....	23
TABLA 4: RECOMENDACIONES UIT – T G.65X, FIBRA ÓPTICA MONOMODO.....	46
TABLA 5: ATENUACIÓN Y NORMAS DE SPLITTERS .....	48
TABLA 6: NÚMERO DE VIVIENDAS LOS ROSALES .....	59
TABLA 7: CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS RECOMENDACIÓN DE LA UIT G-984.2 .....	69
TABLA 8: ATENUACIÓN DE DIVISORES ÓPTICOS POR NÚMERO DE DIVISIONES.....	73
TABLA 9: TABLA ATENUACIÓN DE DIVISORES ÓPTICOS CONSIDERADOS EN DISEÑO .....	74
TABLA 10: CANTIDAD DE DIVISORES ÓPTICOS.....	75
TABLA 11: ELEMENTOS DE RED DE PLANTA EXTERNA.....	82
TABLA 12: ELEMENTOS DE SUJECIÓN DE F.O. AÉREA .....	83
TABLA 13: CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS RECOMENDACIÓN DE LA UIT G-984.2 ....	86
TABLA 14: TABLA DE CÁLCULO DE PRESUPUESTO ÓPTICO .....	90
TABLA 15: ANCHO DE BANDA POR USUARIO .....	92
TABLA 16: TOTAL DE ANCHO DE BANDA.....	92
TABLA 17: COMPARACIÓN RESULTADOS TEÓRICOS Y DE SIMULACIÓN .....	98
TABLA 18: COSTOS EQUIPOS Y MATERIALES INTERNOS .....	99
TABLA 19: COSTOS DE MATERIALES DE PLANTA EXTERNA.....	100
TABLA 20: SERVICIOS DE GPON.....	101
TABLA 21: COSTO TOTAL DE LA RED GPON.....	102
TABLA 22 INGRESOS ESTIMADOS.....	103
TABLA 23: ESTUDIO DE GANANCIAS ANUALES.....	104
TABLA 24: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL TRABAJO .....	109

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Entel S.A empresa nacional en su objetivo de cobertura en toda Bolivia con la tecnología Gpon, no cuenta con un diseño ni estudio en la zona Los Rosales de Achumani.

La zona de Los Rosales de Achumani, al ser una zona residencial en un constante crecimiento, requiere de servicios de comunicación acordes con las aplicaciones que hoy existe, exigiendo por tanto velocidades capaces de brindar un servicio adecuado con una buena calidad de servicio.

En los últimos tiempos se pudo evidenciar la necesidad de mejores sistemas de comunicación que permitan integrar servicios como: telefonía, internet y televisión de paga en una sola red que reemplacen tecnologías que van quedando obsoletas, es necesaria la migración de esta de manera progresiva.

La saturación de medios de comunicación físicos (cables) en las grandes urbes de nuestra ciudad que corresponden a servicios tales como, telefonía, tv cable, datos, nos obligan a integrarlos en un solo medio capaz de soportar los requerimientos técnicos de estas.

El crecimiento demográfico de la población, involucra mayores densidades de tráfico, por lo cual se debe introducir nuevas tecnologías en nuestro medio, los cuales satisfagan a cabalidad los requerimientos de procesamiento de tráfico, además de brindar flexibilidad en la red.

### 1.2 OBJETIVOS

#### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño de una red Gpon de tal manera que proporcione cobertura a la zona Los Rosales de Achumani, contemplando el nodo con el cual cuenta Entel en la zona, además de los materiales y equipos que estuvo implementando en los

últimos años en nuestro país, para de este modo satisfacer la necesidad de comunicación acorde con las aplicaciones que hoy se requieren, todo esto teniendo en cuenta los requerimientos de Entel, además de la demanda del servicio que la población de mencionada zona requiere.

### **1.2.2 OBJETIVO ESPECIFICO**

Realizar el estudio de la red FTTH Gpon que Entel a estado desarrollando en nuestro medio.

Realizar un relevamiento de la zona en la cual basaremos el diseño de la red Gpon, para el caso Los Rosales de Achumani.

Dimensionar los materiales que se necesitaran para ser implementados además de los tiempos aproximados pronosticados para la ejecución.

Realizar cálculos de enlace de Fibra Óptica teniendo en cuenta el peor de los casos, como ser usuario más lejano, mínimas potencias de transmisión, mínima sensibilidad del receptor, máximas atenuaciones de los elementos de la red, posibles cortes de fibra óptica y envejecimiento de la red.

Simulación del diseño de la red considerando el usuario más lejano, de esta forma asegurando la disponibilidad en los demás abonados o usuarios.

Análisis del coste de materiales requeridos para la instalación de la red ODN, equipos OLT y ONT (ONU), coste de la instalación de estos.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

### **1.3.1 TECNOLÓGICA**

La Fibra óptica es hoy es hoy en día, el mejor medio de comunicación, por las distintas bondades que cuenta en comparación a otros medios, las redes Gpon nos ofrecen velocidades innovadoras en el esquema punto a multipunto, De igual

modo, se introduce paulatinamente a nuestro medio, las redes de acceso al usuario FTTH (Fiber to The Home), permitiendo de esta forma integrar varios servicios por un mismo medio permitiendo una buena calidad de servicio.

### **1.3.2 SOCIAL**

La población de la zona Los Rosales de Achumani, tres mil quinientos habitantes aproximadamente, con la inclusión de este proyecto por la empresa Entel, contarán con la posibilidad de acceder a un servicio acorde a las necesidades de hoy en día pudiendo soportar las aplicaciones existentes con la calidad requerida como lo es el servicio de triple play.

La empresa Nacional Entel S.A. al ser una empresa pública y con la incorporación de políticas de brindar cobertura en comunicaciones a todo el país, incorpora una propuesta con el presente trabajo de aplicación para cumplir ese cometido en la Zona Los rosales de Achumani

La zona los Rosales de Achumani, contara con los servicios de comunicación de voz, datos y televisión de pago por un solo medio físico, evitando de esta forma la incorporación de varios cables que en muchas urbes de nuestro país son un problema crítico.

### **1.3.3 ACADÉMICA**

Las redes Gpon, son en la actualidad una de las tecnologías emergentes en nuestro medio, razón por la cual es necesario en la elaboración del presente trabajo la aplicación de conocimientos adquiridos en materias de Líneas de transmisión, Telecomunicaciones, propagación por el medio de la Fibra Óptica, además del manejo de herramientas que nos facilitan la elaboración del trabajo. Todos estos conocimientos adquiridos durante los años de estudio en la carrera Electrónica y Telecomunicaciones en el desarrollo del trabajo se irán reforzando y complementando paulatinamente conocimientos que precisa la elaboración del mismo.

## **1.4 DELIMITACIÓN**

### **1.4.1 TEMÁTICA**

Se realizara el diseño de la red FTTH Gpon, según los parámetros proporcionados por La empresa Nacional Entel S. A. Empleando los materiales, equipos, y requerimientos con que esta empresa cuenta.

### **1.4.2 ESPACIAL.**

El presente proyecto tiene como por objetivo cubrir de los servicios mencionados a la zona de Los Rosales de Achumani ubicada en la zona sur perteneciente al macro distrito de la ciudad de La Paz.

### **1.4.3 TEMPORAL**

Considerando que se debe conocer a cabalidad de los requerimientos de Entel, además se tiene que realizar un relevamiento de la zona, el tiempo de diseño, prospección, está estimado en 30 días.

## **1.5 METODOLOGÍA**

El método de investigación que emplearemos es el descriptivo, pues necesariamente emplearemos información del área que analizaremos con ella podremos formularnos preguntas acerca de los requerimientos del servicio.

## **2.1 INTRODUCCION A REDES GPON**

La Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit (GPON o Gigabit-capable Passive Optical Network en inglés) fue aprobada en 2003-2004 por ITU-T en las recomendaciones G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4 y G.984.5. Todos los fabricantes de equipos deben cumplirla para garantizar la interoperabilidad. Se trata de las estandarizaciones de las redes PON a velocidades superiores a 1 Gbit/s. Posteriormente se han editado dos nuevas recomendaciones: G.984.6 (Extensión del alcance) y G.984.7 (Largo alcance).<sup>1</sup>

### **2.1.1 HISTORIA DE LAS REDES PON**

El concepto de red óptica pasiva (PON) fue propuesto originalmente por investigadores de British Telecom en el año 1987 con el ánimo de disponer de un tipo de red FTTH que fuese económicamente viable y a la vez lo suficientemente flexible como para acomodar nuevos servicios en la medida que fueran apareciendo. A partir de las redes pon se fueron incorporando variantes de mejores cualidades como ser alcance, anchos de Banda, velocidades de transmisión, propiamente podemos mencionar. APON BPON GPON y la última la cual se encuentra en surgimiento es la EPON.<sup>2</sup>

## **2.2 GPON (REDES ÓPTICAS PASIVAS GIGABIT)**

GPON es una estándar que puede alcanzar velocidades superiores a 1 Gbps, esta es una tecnología de acceso que se encuentra estandarizado en el conjunto de recomendaciones de ITU-T (Sector de normalización de las telecomunicaciones) G.984, fue aprobada en 2003 - 2004 y ha sido normalizada en las recomendaciones G.984.1, G984.2, G.984.3 y G.984.4.

---

Fuente: FTTH/GPON - Wikipedia, la enciclopedia libre.htm  
Fuente:Stalling, Comunicación y Redes de Computadoras 6ta Edición,

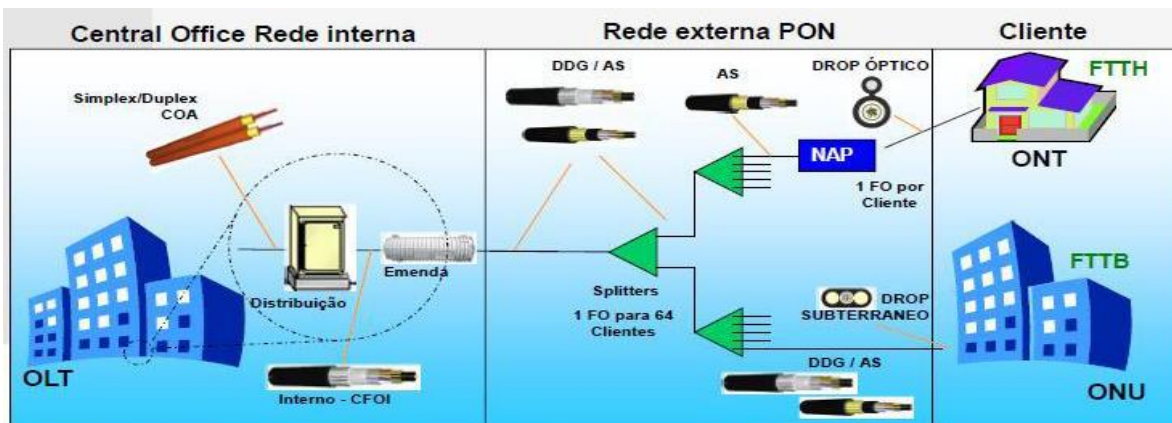


Tiene un alcance de 20 km, aunque actualmente el estándar ha sido apto para alcanzar los 60 km, el máximo número que puede soportar una misma fibra es de 64 usuarios pero puede alcanzar a soportar hasta 128 usuarios. Dentro de la estructura que comprenden las redes PON están varios elementos que se verán más adelante, forman parte del objeto de este trabajo en las redes GPON.

Así los elementos esenciales de las redes PON son:

- Red Óptica de Acceso (OAN, *Optical Access Network*), se la considera como el conjunto de enlaces de acceso que coinciden con iguales interfaces del lado de la red admitidos por los sistemas de transmisión de tipo óptico.
- Red de Distribución Óptica (ODN, *Optical Distribution Network*), brinda la comunicación entre un OLT y el usuario y viceversa.
- Terminación de Línea Óptica (OLT, *Optical Line Termination*), una OLT brinda la interfaz de red entre la OAN y que permite la conexión a una o varias ODN.
- Unidad de Red Óptica (ONU, *Optical Network Unit*), que se define como el elemento que actúa como vínculo entre el usuario y la OAN, conectada a la ODN.

El conjunto de dispositivos nombrados con anterioridad, conforman la arquitectura para el soporte de ATM por las redes PON. De manera sencilla estos elementos trabajan de la siguiente forma: la OLT es la interface entre la red PON y el *backbone* de la red, mientras que la ONT genera la interfaz de servicio al usuario final. Para la conexión entre la OLT y las diferentes ONT, se las enlaza por medio de fibra óptica, con señales asignadas en diferentes longitudes de onda, para evitar colisiones en el envío de datos ya sea de forma ascendente o descendente. La función que tienen los divisores ópticos principalmente, es repartir y destinar la señal proveniente desde la OLT hacia los terminales ópticos, se observa en la figura 1 la estructura de una red PON.



**Figura 1: Estructura de red PON**

En lo que respecta a velocidades de transmisión, se puede decir que estas variaciones han definido los tipos de redes PON existentes, así se habla de velocidades desde 155Mbps, 622Mbps, 1.25Gbps o 2.5Gbps.

### 2.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR GPON

El estándar GPON es una solución de acceso de alta capacidad para servicios triple play (voz, vídeo y datos). Este 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 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.

GPON ofrece un amplio soporte de servicios, incluyendo voz (TDM, SONET, SDH), Ethernet, ATM, Frame Relay, líneas arrendadas, etc., GPON ofrece un mejoramiento de la confiabilidad de la red de acceso utilizando SDH (Jerarquía Digital Sincrónica) como cambios de protección automáticos y cambios de protección forzosos, sin embargo se les considera como opcionales ya que la utilización de esta tecnología implica la realización de sistemas económicos. Su alcance nominal de 20Km con un presupuesto de 60Km dentro de las

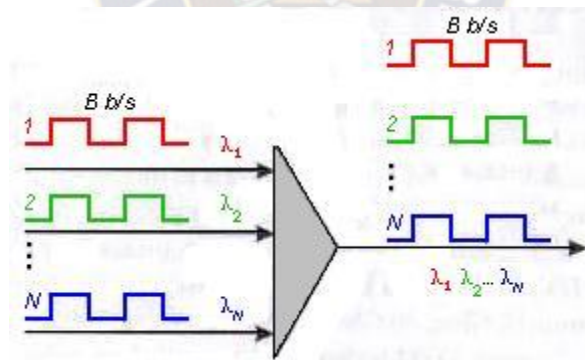
recomendaciones establecidas. GPON usa multiplexación WDM (Wavelength Division Multiplexing) la cual le permite que la información viaje tanto ascendente como descendente en la misma fibra óptica.

### 2.2.1.1 WDM (WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING)

Es una técnica de multiplexación que consiste en la transmisión, sobre una misma fibra, de múltiples portadoras ópticas moduladas, ampliando la capacidad de transmisión utilizada en la fibra, ya que se multiplica por el número de canales.

El fundamento de la multiplexación por división en longitud de onda WDM es análogo a la multiplexación por división en frecuencia (FDM, frequency division multiplexing).

La técnica WDM consiste en transmitir varias señales cada una en una longitud de onda diferente y con la misma tasa binaria como se puede observar en la figura 2, sin que interfieran entre sí ya que están lo suficientemente separadas. De este modo la capacidad del enlace se multiplica por el número de canales.



**Figura 2: Técnica WDM**

Dentro de los sistemas WDM existen dos subtipos:

Los sistemas **SWDM** (WDM simple), en los cuales las longitudes de onda de las portadoras se encuentran distanciadas ampliamente; por ejemplo, utilizando una portadora a 1550 nm y otra a 1310nm.

Sistemas **DWDM** (WDM denso), en estos sistemas el espaciado entre las longitudes de onda de los canales es muy reducido, dando lugar a una gran densidad de canales. Estos sistemas consiguen la máxima eficiencia en el uso de la fibra. Cuando se habla de sistema WDM sin indicar la categoría se hace referencia a este segundo grupo de sistemas.<sup>3</sup>

## **2.2.2 RECOMENDACIONES UIT PARA REDES GPON**

Estas redes tienen un conjunto de recomendaciones que regulan las diferentes características de los equipos desarrollados para el soporte del estándar GPON, y así tender a la unificación de sus prestaciones, la compatibilidad de equipos existentes y con funcionalidades ya establecidas en recomendaciones anteriores y que se refieren al manejo de fibra óptica.

Estas recomendaciones se enmarcan en el mejoramiento de algunas de las capacidades y características presentadas en la serie ITU-T G.983.X como ya mencionamos anteriormente, la cual considera el mismo método de transmisión sobre redes ópticas pasivas para el protocolo ATM, y por tanto, su alcance resulta ampliado en cuanto a las velocidades de manejo de la información, Gigabit por segundo, en la serie de recomendaciones aquí citadas.

A continuación se presentan las cinco recomendaciones aprobadas en la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT o ITU (International Telecommunication Union) por sus siglas en inglés, puntualmente en el grupo encargado de la normalización de las Telecomunicaciones (UIT-T).

### **2.2.2.1 UIT-T G.984.1**

Esta recomendación la cual se aprobó en Marzo de 2003. Se trata de la introducción hacia el estándar GPON, presentando las características generales de funcionamiento y constitución, las velocidades deseadas, retardos de transferencia de la señal, relación de potencia de los divisores ópticos e información de seguridad.

---

<sup>3</sup> Fuente: <http://memesis.tel.uva.es>

En esta recomendación nos indica que la red GPON debe ser capaz de transportar diferentes tipos de servicio. Como Ethernet 10/100 Mbps, telefonía analógica, tráfico E1, ATM de 155 Mbps. Las velocidades de línea nominales se especifican como 1.25 G, (1244.160 Mbps) y 2.5 G, (2488.320 Mbps) en la dirección de bajada y 155 Mbps, 622 Mbps, 1.25 Gbps y 2.5 Gbps en la dirección de subida.

Las longitudes de onda se especifican en el rango de 1480 a 1550 nm para el enlace de bajada de voz y tráfico de datos y 1260 a 1360 nm para el tráfico correspondiente de subida. En la tabla 1 se puede observar las especificaciones GSR (Requerimientos del servicio Gigabit).

Parámetro	Especificación GSR
Servicio	Servicio Total: Por ejemplo, Ethernet 10/100 Base-T, Telefonía Analógica, SONET/SDH, ATM
Velocidad de Datos	Bajada: 1.244 y 2.488 Gbps; subida: 155 Mbps, 622 Mbps, 1.2244 Gbps, 2.4488 Gbps
Distancia	20 Km Máximo
Cantidad de Divisiones	Un máximo de 64
Longitudes de Onda	Bajada voz/datos: 1480 a 1500 nm; subida voz/datos: 1260 a 1360 nm; distribución de videos: 1550 a 1560 nm
Protección	1+1; 1:N
Seguridad	Seguridad de la información en el tráfico de bajada con AES

**Tabla1: Requerimientos de Servicios GPON**

En esta norma también se describe el uso de mecanismos de conmutación de protección como 1+1 y 1: N:

- La conmutación 1+1, es donde el tráfico se transmite de forma simultánea por dos fibras separadas desde la central hasta el destino. En este esquema de protección 1+1, el equipo receptor selecciona una de las fibras como de trabajo y en caso de falla, el receptor se conmuta con la fibra de protección. Este método da conmutación rápida durante las fallas y no

requiere ningún protocolo de señalización entre origen y destino. La desventaja es que para aplicar dicho método se requiere duplicar fibras para cada enlace.

- El método 1: N presenta un manejo eficaz y económico, en este método se comparte una fibra de protección entre N fibras de trabajo. Esta protección se considera como el más adecuado, ya que la falla de múltiples fibras es raro. Cuando falla una fibra se conmuta hacia la fibra de protección. Esto requiere un protocolo de conmutación automática entre los extremos para habilitar el uso de la fibra de protección.

En la arquitectura GPON la información de bajada se transmite en forma de broadcast desde el OLT hacia todos los ONTs, cada mensaje puede ser visto por todos los usuarios de la red. En la presente norma se recomienda aplicar como algoritmo de encriptación AES (Estándar Avanzado de Encriptación), esto para garantizar que el acceso de datos sea solo para el usuario específico.

#### 2.2.2.2 UIT-T G.984.2

En la recomendación G.984.2 se describe los requerimientos y especificaciones para la capa dependiente del medio físico de GPON. También incluye las especificaciones de señal eléctrica y óptica-eléctrica, recuperación de reloj y mecanismos de corrección de errores. En la tabla se muestra un resumen de estas especificaciones.

Parámetro	Especificación
Velocidades de Acceso	Bajada: 1.244 y 2.488 Gbps; subida: 155 Mbps, 622 Mbps, 1.2244 Gbps, 2.4488 Gbps
Clases Ópticas	Clase A, B y C
Encabezado	Se especifica para cada velocidad
Nivel de Potencia	La salida de potencia óptica puede operar en tres diferentes niveles, de acuerdo a la tolerancia del receptor.
Confiabilidad de los Datos	Se puede utilizar FEC como opción para la corrección de errores.

**Tabla 2: Especificaciones de la Capa Dependiente del Medio Físico**

Es el conjunto de especificaciones para el manejo de la capa dependiente de los medios físicos PMD, la cual cubre sistemas con tasas nominales de 1244.160Mbit/s y 2488.320Mbit/s en dirección descendente y 155.52Mbit/s, 622.08Mbit/s, 1244.160Mbit/s y 2488.320Mbit/s en dirección ascendente y además explica el manejo simétrico y asimétrico de la señal, con referencia a las velocidades descritas.

Otra recomendación es el especificar el desempeño de los transmisores y receptores ópticos a distancias de transmisión de 10 y 20 Km. Para el cálculo de presupuesto óptico, se utilizan los siguientes valores:

- Clase A: 5 a 20 dB
- Clase B: 10 a 15 dB
- Clase C: 15 a 30 dB

En estos rangos están incluidas pérdidas en la fibra, empalmes, conectores y divisores ópticos. También se debe tomar en cuenta posibles degradaciones del enlace debidas a empalmes adicionales o variación del tamaño de la fibra, debido a futuras reparaciones o degradaciones de los componentes pasivos.

La descripción de esta recomendación abarca servicios de voz, distributivos y de datos con velocidades en Gbps. Además se debe anotar que la arquitectura que se analiza en el manejo de la PMD, es una estructura tipo árbol y rama punto a multipunto capaz de servir a las interfaces usuario-red. También en la tabla se muestra las distancias máximas bajo condiciones ideales, se asume que la fibra tiene una atenuación de 0.25 dB/Km a 1550 nm.

Divisores	Perdida en Divisor (dB)	Distancia Clase A (Km)	Distancia Clase B (Km)	Distancia Clase C (Km)
1:16	14	13	33	53
1:32	17	2	22	42
1:64	20	0	11	31

**Tabla 3: Distancias Máximas**

Además establece un intervalo de guarda por el retardo de encendido del láser para la siguiente ráfaga de datos, el tiempo de guarda es de 25.6 ns, lo que significa que la cantidad de bits aumenta conforme se incrementa la velocidad.<sup>4</sup>

### **2.2.2.3 UIT-T G.984.3**

Denominada como la especificación de la Capa de Convergencia de Transmisión TC (*Transmission Convergence*), expone los formatos de trama, el método de control de acceso, la funcionalidad OAM y la seguridad en redes GPON.

Los parámetros que se ofrecen en esta recomendación sirven para aclarar la interoperabilidad entre la capa de convergencia y la PMD, en base al uso de herramientas como el AES y la trama FEC utilizada en la comunicación entre la OLT y varias ONU en sentido descendente.

Puede decirse que esta recomendación está directamente referenciada a los aspectos de la fibra óptica, explicando algunas de las redes con acceso flexible para este medio, describiendo las características de las redes PON. Además involucra los pasos que se deben considerar para el diseño de la red GPON, en base a las distancias, funcionalidad y seguridad.

### **2.2.2.4 UIT-T G.984.4**

Especificación de la interfaz de control y gestión OMCI (*ONT Management and Control Interface*) 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 (Management Information Base) independiente del protocolo de comunicación entre OLT y ONT. La MBI específicamente dirige la gestión o manejo de la configuración, averías y de calidad de funcionamiento de la ONT, considerando lo siguiente: las capas de adaptación que en el estándar ATM son la 1, 2 y 5, la capa de adaptación GEM, los servicios de emulación de circuitos,

---

Fuente: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-200303-I/es>.



servicios de Ethernet, servicios de voz y el tipo de multiplexación demultiplexación que maneja el estándar WDM (Wavelength Division Multiplexing).

El protocolo OMCI sirve para que la OLT tenga control sobre la o las ONT, logrando con ello establecer o terminar las conexiones a través de la ONT, manejar las interfaces usuario-red UNI en las ONT, pedir información de configuración y estado de la calidad de operación e informar sin necesidad de intervenciones ajenas las posibles fallas en los enlaces.

En general, las especificaciones de esta recomendación, permiten conocer a fondo cómo se realiza la administración de los diferentes servicios y sus tramas, según sus relaciones y atributos dentro del complejo sistema de encriptación.

#### **2.2.2.5 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.<sup>5</sup>

#### **2.2.3 TECNOLOGÍAS Y PROTOCOLOS EN REDES GPON**

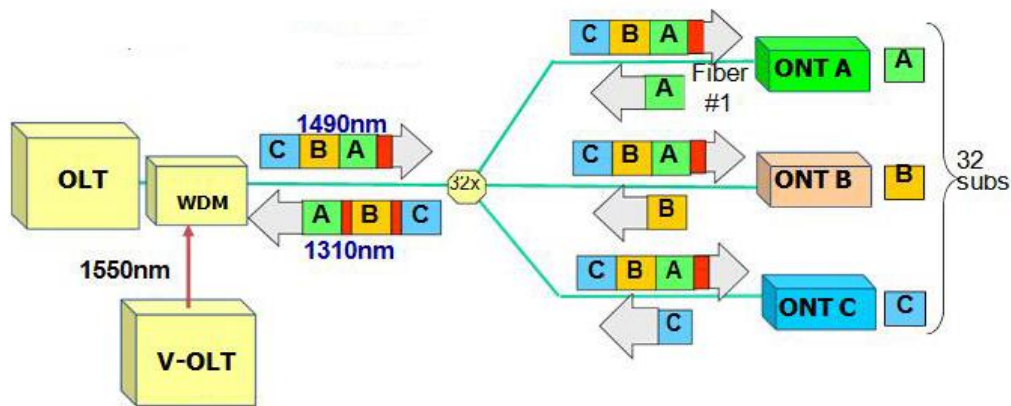
En la transmisión de la información se cuenta con la aprobación del uso de la tecnología TDM (*Time Division Multiplexing*) para el envío descendente de la información con períodos de transmisión fijos y TDMA (*Time Division Multiple Access*) en sentido ascendente, que posibilita la ausencia de colisiones como se anotó con anterioridad. Debido a la topología en árbol de la red GPON, se utiliza *broadcasting* para enviar la señal a todos los miembros de la red, que cuentan con la capacidad de discriminar los datos hacia el correspondiente ONT, utilizando técnicas de seguridad como el Estándar de Encriptación Avanzada AES (*Advanced Encryption Standard*), brindando mayor confiabilidad. Además, utiliza

---

Fuente: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-200303-I/es>.

de forma eficiente el ancho de banda al disponer de éste en los instantes en el cual hay tráfico y ampliando la capacidad de los usuarios en forma individual gracias a la técnica conocida como Asignación Dinámica del Ancho de Banda DBA (*Dynamic Bandwidth Allocation*).

En el transporte de datos, se ha optado por la aplicación de protocolos usados en estándares previos a GPON como lo es ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) Modo de Transferencia Asíncrona y GEM (*GPON Encapsulation Method*), Método de encapsulación GPON que resulta de una adaptación del estándar GFP (*Generic Frame Procedure*) definido en la recomendación ITU-T G.7041. En la figura 15 se puede observar el manejo de datos en una red GPON.



**Figura 3: Transporte en una red GPON**

### 2.2.3.1 ASIGNACIÓN DINÁMICA DE ANCHO DE BANDA DBA (DYNAMIC BANDWIDTH ALLOCATION)

DBA en general se define como el proceso de proporcionar multiplexación estadística entre ONT's. Para entender la importancia de la multiplexación estadística en las PON's, nótese que el tráfico de datos en los links individuales en una red de acceso es por ráfagas. Debido a este tráfico a ráfagas, los requerimientos de ancho de banda varían en el tiempo. Sin embargo, la asignación estática de ancho de banda para un suscriptor individual en una PON es típicamente ineficiente. La multiplexación estadística que adapta los requerimientos de ancho de banda de manera instantánea es la más eficiente.

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.

Esta Asignación Dinámica de Ancho de Banda (DBA, Dynamic Bandwidth Allocation) opera en la OLT para proveer dicha multiplexación. La OLT requiere información instantánea de los requerimientos de ancho de banda de cada ONT para poder tomar decisiones. Pero tener esta información precisa no es posible debido a los retardos de las PON, típicamente de 100  $\mu$ sec, lo cual es significativamente grande. La ONU debe reportar el tamaño de sus colas de manera instantánea en un frame de control y propagar esto a través de la PON a la OLT. Todo esto provoca ciertos problemas, como son, propagación de retardos como resultado de la distancia entre ONT's y OLT's

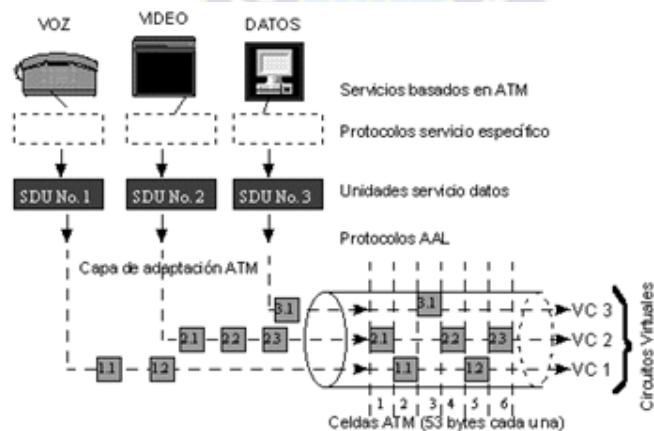
Su funcionalidad rescata algunas de las opciones de redes compartidas cuando varios usuarios pertenecientes a una red no se hallen conectados, aquellos que si lo están se benefician con una mayor capacidad para la transmisión de datos, dando cabida a esa información en los intervalos no utilizados del ancho de banda.

### **2.2.3.2 ATM ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE**

La tecnología (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.

La figura No.3 muestra un formato básico y la jerarquía de ATM. Una conexión ATM, consiste de "celdas" de información contenidos en un circuito virtual. Estas

celdas provienen de diferentes fuentes representadas como generadores de bits a tasas de transferencia constantes como la voz y a tasas variables tipo ráfagas (bursty traffic) como los datos. Cada celda compuesta por 53 bytes, de los cuales 48 (opcionalmente 44) son para trasiego de información y los restantes para uso de campos de control (cabecera) con información de origen y destino. La organización de la cabecera (header) variará levemente dependiendo de sí la información relacionada es para interfaces de red a red o de usuario a red. Las celdas son enrutadas individualmente a través de los conmutadores basados en estos identificadores.



**Figura 4: Jerarquía de ATM**

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 (*Public Switched Telephone Network*).<sup>6</sup>

### 2.2.3.2.1 CELDA ATM

La transferencia de información en ATM, a diferencia de la de otras técnicas de conmutación de paquetes, como X.25 o Frame Relay, utiliza paquetes de longitud corta y fija, denominados celdas. Cada celda consta de 53 octetos o bytes, tamaño que consigue el mejor equilibrio entre la eficiencia de transmisión de datos y los requerimientos de retardo para el tráfico de voz y vídeo. Los 5 primeros bytes

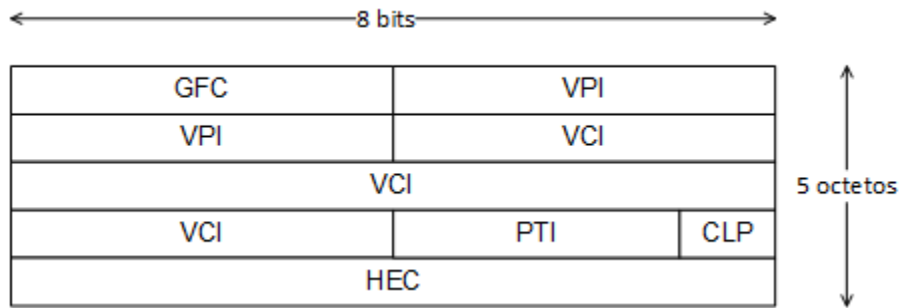
Fuente: [electronicdesign.com](http://electronicdesign.com)

contienen la información de la cabecera y los 48 bytes restantes la información de usuario.

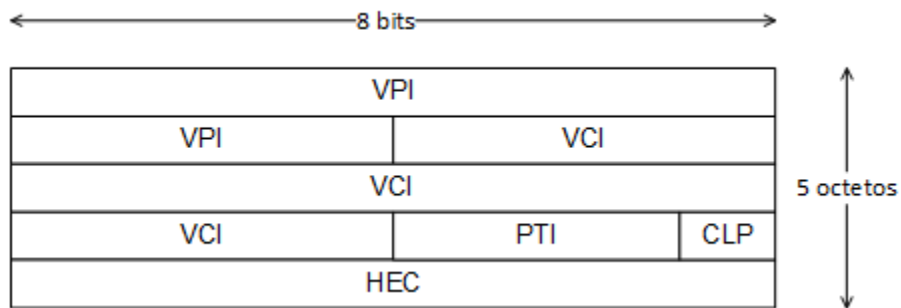
La cabecera ATM tiene dos formatos, el UNI y el NNI. La cabecera UNI es utilizada para la comunicación entre los puntos finales ATM y los conmutadores ATM, mientras que la cabecera NNI es utilizada para la comunicación entre conmutadores ATM. La cabecera UNI es mostrada en la Figura 5 y la cabecera NNI en la Figura 6. Como se puede comprobar, la cabecera contiene la siguiente información:

- Identificador de canal virtual o VCI (*Virtual Channel Identifier*) e identificador de camino virtual o VPI (*Virtual Path Identifier*). Identifican el siguiente destino de la celda cuando pasa a través de varios conmutadores ATM. Un camino virtual o VP (*Virtual Path*) no es más que la multiplexación de diversos flujos de tráfico sobre un mismo medio de transmisión, y es identificado por el VPI. Un camino de transmisión es un conjunto de VPs. En ATM cada uno de estos VPs es más tarde multiplexado en un cierto número de canales virtuales o VCs (*Virtual Channels*), identificados mediante los VCIs. Un VP es, por lo tanto, un conjunto de VCs, cada uno de los cuales es conmutado de forma transparente a través de la red ATM en base a un VPI común. Los VCIs y VPIs sólo tienen un significado local a lo largo de un enlace en particular y se hace una correspondencia, cuando sea apropiado, en cada conmutador.
- Identificador del tipo de carga o PTI (*Payload Type Identifier*). Indica en el primer bit si la celda contiene datos de usuario o datos de control. Si la celda contiene datos de usuario, el segundo bit indica congestión, y el tercer bit indica si la celda es la última en una serie de celdas que representan una única trama AAL5.
- Prioridad de pérdida de celda o CLP (*Cell Loss Priority*). Indica si la celda debe ser descartada en el caso de que haya congestión en su tránsito por la red. Si el CLP es igual a 1, la celda debe ser descartada antes que las celdas de la misma conexión con el CLP igual a 0.

- Campo de control de errores o HEC (*Header Error Check*). Calcula el código de redundancia cíclica sobre la cabecera de la celda. Se utiliza para localizar errores en la cabecera y corregirlos, si el número de ellos no es mayor que 2; en caso contrario, cuando existan más de 2 errores, la celda se descarta.
- Campo de control de flujo genérico o GFC (*Generic Flow Control*). La cabecera UNI, a diferencia de la NNI, no soporta el CGF.<sup>7</sup>



**Figura 5: Cabecera ATM UNI**



**Figura 6: Cabecera ATM NNI**

### 2.2.3.3 GEM GPON ENCAPSULATION METHOD

El método GEM se basa en el estándar GFP (Generic Framing Procedure) del ITU-T G.7041 y fue definido por la ITU-T G.984.3, con modificaciones menores para las tecnologías PON. El modo de encapsulamiento GEM permite mayor flexibilidad y transmisión de paquete IP de tamaño variable a lo largo de enlaces TDM. GPON de este modo no solamente ofrece más ancho de banda que sus tecnologías antecesoras (APON, BPON) sino que también es más eficiente y

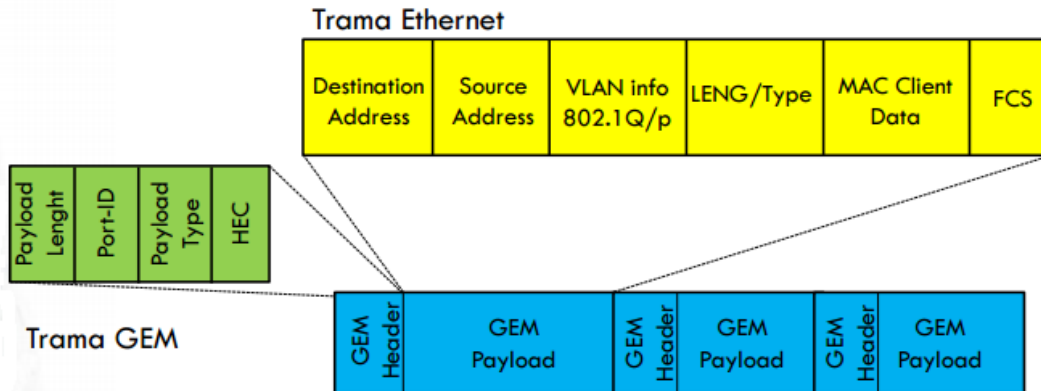
Fuente: telecom.com.co

permite a los operadores continuar brindando sus servicios tradicionales (voz basada en TDM, líneas alquiladas) sin tener que mudar los equipos instalados en las dependencias de los clientes. Este encapsulamiento define las maneras de encapsular la información de longitud variable de diversas señales, para transportarlas por redes SDH (Jerarquía Digital Síncrona) u OTN (Oracle Technology Network).

Permite soportar cualquier tipo de servicio (Ethernet, TDM, ATM, etc.) 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 sólo 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

En el protocolo GEM el tráfico se transporta mediante el protocolo de convergencia de transmisión GPON GTC (GPON Transmission Convergence) de forma transparente. En sentido ascendente, es decir, desde la OLT hacia la ONU u ONT se utiliza una partición de cabida útil GEM. La estación OLT atribuye la duración que se necesite en sentido descendente, hasta incluir toda la trama descendente. La subcapa de entramado de la ONU u ONT filtra las tramas entrantes en base al identificador de puertos (Port-ID) entregando las tramas adecuadas al cliente GEM de la ONT adecuada.

La carga encapsulada puede ser de hasta 1500 bytes. Si algún ONT necesita enviar trama mayor, el ONT debe fragmentarla, el equipo destino es el responsable de re ensamblar los fragmentos para obtener el paquete original. En la figura 19 se puede observar la arquitectura de trama GEM.



**Figura 7: Estructura de la trama GEM**

Las tramas Ethernet se transportan de manera transparente teniendo en cuenta que la OLT y la ONT son capaces de interpretar y modificar. La trama Ethernet se ven los siguientes campos.

- Campo Dirección MAC de destino: este campo es el identificador del destinatario previsto. La dirección de la trama se compara con la dirección MAC del dispositivo. Si coinciden, el dispositivo acepta la trama.
- Campo Dirección MAC de origen: este campo identifica la NIC o la interfaz que origina la trama.
- Campo de longitud y tipo: este campo identifica el tamaño y tipo de datos que se envía, esto se utiliza posteriormente como parte de la FCS para garantizar que el mensaje se reciba adecuadamente.
- Campo Datos: este campo contiene los datos encapsulados de una capa superior, se utilizan bits adicionales conocidos como “relleno” para incrementar el tamaño de la trama al tamaño mínimo.
- Campo Secuencia de verificación de trama (FCS): este campo de 4 bytes se utiliza para detectar errores en una trama. Utiliza una comprobación de redundancia cíclica (CRC). El dispositivo emisor incluye los resultados de una CRC en el campo FCS de la trama. El dispositivo receptor recibe la trama y genera una CRC para buscar errores. Si los cálculos coinciden, significa que no se produjo ningún error. Los cálculos que no coinciden indican que los datos cambiaron y, por consiguiente, se descarta la trama. Un cambio en los



datos podría ser resultado de una interrupción de las señales eléctricas que representan los bits.

La figura 8 muestra la estructura de la cabecera del segmento GEM, el cual consiste de cuatro campos de encabezado y la carga de L bytes de longitud.

PLI 12 bits	Port ID 12 bits	PTI 3 bits	CRC 13 bits	Carga L bytes
----------------	--------------------	---------------	----------------	------------------

**Figura 8: Cabecera GEM**

El encabezado del estándar GEM contiene los siguientes campos:

- Campo de 12 bits indicador del tamaño de carga PLI (Payload Length Indicator).
- Campo PORT ID (Identificación del Puerto) de 12 bits de identificador del número de puerto, que indica a que flujo pertenece este fragmento, permitiendo eficiencia en la multiplexación del tráfico.
- Campo PTI (tipo de contenido), de 3 bits indica que tipo de datos son transmitidos en la trama GEM, que especifica si es el final de un paquete del usuario, si el flujo de tráfico esta congestionado.
- Campo CRC o HEC de 13 bits para el control de errores del encabezado, permitiendo la corrección de dos errores y la detección de tres.<sup>8</sup>

#### **2.2.3.4 PROTOCOLO OMCI**

El protocolo OMCI (*ONT Management and Control Interface*) es el protocolo estándar de GPON para el control por parte de la OLT (equipo de central) de las ONT (equipo de abonado). Logrando establecer o terminar las conexiones a través de la ONT, Este protocolo permite:

- Establecer y liberar conexiones en la ONT

---

Fuente: <http://www.ccapitalia.net/>

Fuente: <http://www.INTTELMEX.com>

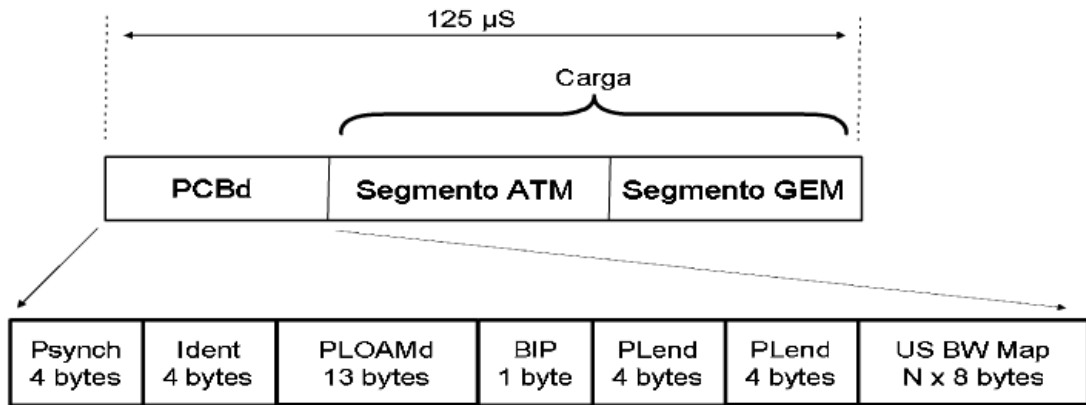
- Gestionar los puertos físicos de la ONT
- Solicitar información de configuración y estadísticas de rendimiento
- Informar autónomamente al operador del sistema de eventos, tales como cortes de fibra.

El protocolo OMCI se ejecuta sobre una conexión GEM (*GPON Encapsulation Method*) entre la controladora del a OLT y la controladora de la ONT y es establecido durante la fase de arranque de la ONT. El protocolo OMCI es asimétrico: el OLT es el maestro y la ONT es el esclavo. Un único OLT empleando diversas instancias del protocolo sobre canales de control independientes puede controlar múltiples ONTs. Los requerimientos de la OMCI dados en la recomendación G.984.4 de la ITU-T son necesarios para manejar la ONT en las siguientes áreas:

- Gestión de la configuración
- Gestión de fallos
- Gestión del rendimiento
- Gestión de la seguridad

#### **2.2.4 TRAMA DE BAJADA GPON**

La velocidad binaria nominal de la señal OLT a ONU es 1244.16Mbps ó 2488.32Mbps. Para poder transportar todos los tipos de servicios, (ATM, TDM, Ethernet, etc.), de forma eficiente, se utiliza el método de encapsulamiento GPOM, GEM ya mencionado anteriormente. Este método sirve para enviar paquetes IP sobre redes SDH. En la figura 21 muestra el formato de la trama la cual tiene un tamaño fijo de 125  $\mu$ S.



**Figura 9: Trama GPON de bajada**

La trama consiste de un bloque de control físico, (PCBd), y la carga, compuesta de un segmento ATM y un segmento GEM. La sección PCBd contiene los encabezados de información de capa física utilizada para controlar la red. En el sentido de bajada de la red GPON, el PCBd contiene la siguiente información para transmitir los datos:

- Campo de 4 bytes de sincronía de trama, (Psynch).
- Campo de 4 bytes (Ident), que contiene un contador de 8 KHz, un bit de estado de FEC, un bit de encriptación y 8 bits de reservados para uso futuro.
- Campo de 13 bytes para los mensajes de capa física de OAM, este es un canal habilitado para el envío de mensajes entre OLT y ONT.
- Campo de 1 byte para BIP, para el cálculo de BER (Tasa de error binario).
- Campo de 4 bytes para indicar el tamaño de la carga, (PLend) en el sentido de descarga, el cual da el tamaño del ancho de banda del mapa de subida, (US BW), y el tamaño del segmento ATM. Se envía dos veces por seguridad.

- El mapa de NX8-bytes US BW describe la cantidad N de intervalos de tiempo de transmisión a los ONTs.

El mapa US BW contiene N entradas asociadas con la posición de N intervalos de tiempo para los ONTs. La figura 10 muestra la composición de esta sección:

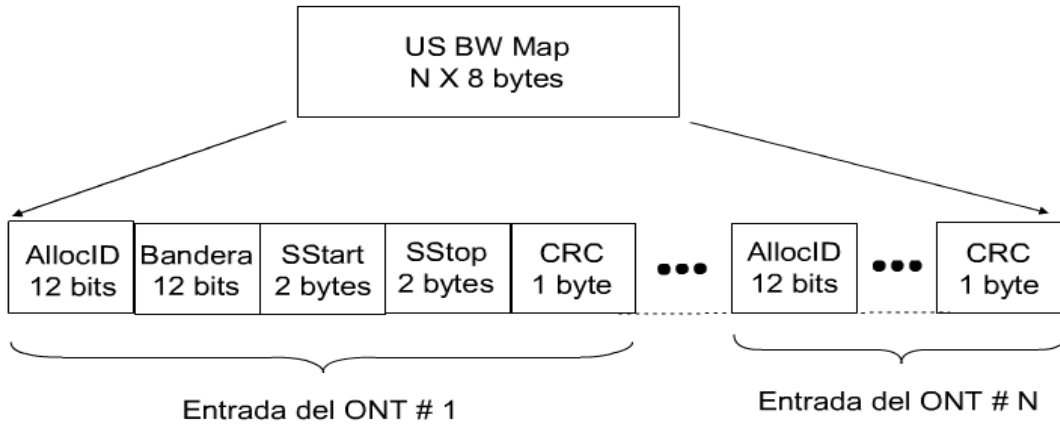
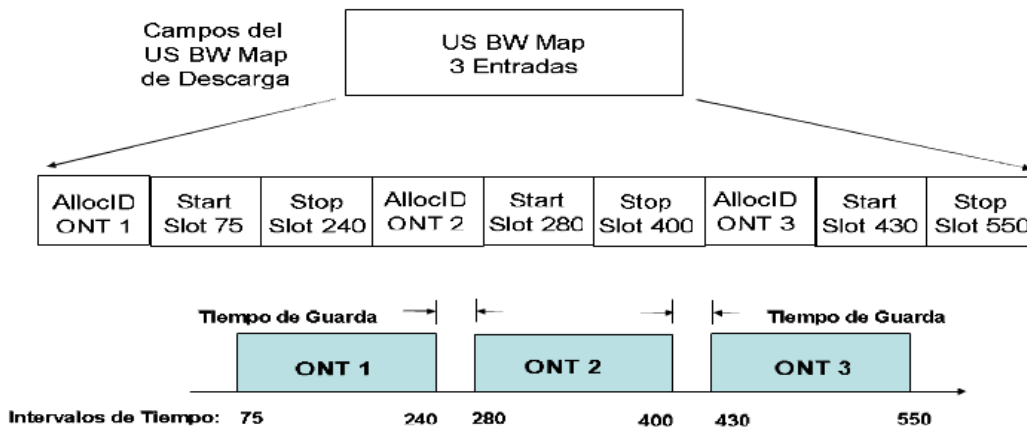


Figura 10: Estructura del mapa US BW

La estructura del Mapa US BW consiste de:

- Campo de 12 bits para identificar ONT (AllocID).
- Campo de 12 bits para permitir la transmisión de subida de los bits de encabezado para cada ONT.
- Campo de 2 bytes que indica el momento de inicio de la ventana de transmisión de subida (SStart). El inicio de la trama de subida se da cuando el valor sea cero.
- Campo de 2 bytes que indica el momento de parada de la ventana de transmisión de subida (SStop).
- Un campo de 1 byte de CRC para detección de errores de 2 bits y corrección de 1 error.

A continuación para una mejor comprensión se muestra en la figura 11 un ejemplo del acomodo de los intervalos de tiempo para tres ONTs, donde existen entradas en el mapa US BW.



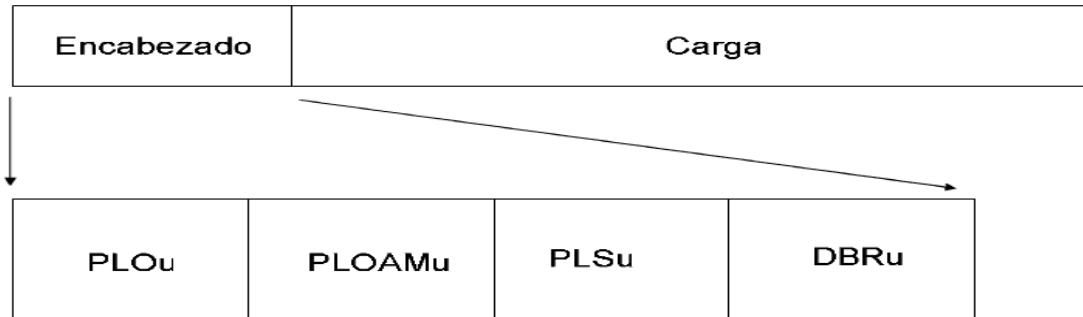
**Figura 11: Ejemplo del mapa US BW**

Los AllocID para los ONTs son 1,2 y 3, para ONT1, ONT2 y ONT3 respectivamente. La parte central de la figura 11 se muestra los intervalos de tiempo de inicio y parada en el sentido de bajada del mapa US MW durante el cual ONTs pueden transmitir. La parte baja de la figura muestra el formato general del flujo de datos de subida de los tres ONTs, junto con su tiempo de guarda.

### 2.2.5 TRAMA DE SUBIDA GPON

El tráfico de subida de GPON consiste en transmisiones sucesivas de uno o más ONTs. La velocidad binaria nominal de la señal ONT a OLT es 155.52, 622.08, 1244.16 ó 2488.32Mbit/s. En la figura 11 se puede observar la secuencia particular de tramas se basa en la distribución de los intervalos de tiempo desarrollados por el OLT.

Para permitir una recepción adecuada de las tramas en modo de ráfaga, se necesita cierta cantidad de encabezados de ráfaga al inicio de la ráfaga de subida del ONT. La figura 12 muestra el formato de la trama de subida, el cual consiste en cuatro tipos de encabezados y una carga de usuario de tamaño variable.



**Figura 12: Formato trama de subida**

La descripción de los campos de la trama de subida es la siguiente:

- Encabezado de inicio, (PLO<sub>u</sub>), al inicio de la ráfaga del ONT, para alineamiento de la trama.
- Campo para OAM, (PLOAM<sub>u</sub>), para notificaciones de alarmas. A través de la gestión PLOAM se configuran y monitorizan parámetros del nivel PMD y GTC – Activación de ONUs (asignación de ONU-ID, Ranging, desactivación de ONU, Password, S/N, etc) – Configuración de encriptación – Asignación de un número de Alloc-ID (sólo el número, no BW) – Alarmas (Errores físicos, Dying Gasp, etc).
- Campo de secuencia de nivel de potencia, (PLS<sub>u</sub>), que contiene la información del nivel de potencia en los ONTs, utilizado por el OLT para que el ONT ajuste su potencia de forma dinámica.
- Campo de reporte de ancho de banda dinámico, (DBR<sub>u</sub>), que informa al OLT del tamaño de la cola de cada AllocID en el ONT. Esto le permite al OLT habilitar el proceso de ancho de banda dinámico.<sup>9</sup>

---

Fuente: <http://cursoslibres.academica.mx/>

## 2.2.6 SEGURIDAD

### 2.2.6.1 FEC FORWARD ERROR CORRECTION

Como opción para mantener bajos los costos de los sistemas ópticos, manteniendo un alto nivel de integridad de los datos, la recomendación G.984.2 especifica el uso del FEC. Este es un sistema de control de errores para la transmisión de datos, mediante el cual el emisor añade datos redundantes a sus mensajes, generalmente conocido como código de corrección de errores.

FEC es una técnica de procesamiento matemático de la señal que codifica los datos, de manera que sea posible detectar y corregir los errores. En esta técnica se transmite información redundante junto con la información original. Si alguna parte de la información se pierde o se recibe con errores, la información redundante se utiliza para reconstruir los datos.

El FEC se logra mediante la adición de redundancia a la información transmitida utilizando un algoritmo predeterminado. Cada dato redundante, se obtiene de una función compleja de muchos bits de la información original. La información original puede o no aparecer en la codificación de salida. Típicamente, la cantidad de información redundante es pequeña, con lo que el esquema FEC no utiliza mucho ancho de banda adicional y por lo tanto permanece eficiente su uso.

Los dispositivos FEC generalmente están situados en la primera etapa de procesamiento digital después de que señal ha sido recibida. Los circuitos FEC son una parte integrante del proceso de conversión analógica digital, tienen una participación importante los procesos de modulación digital y demodulación. Muchos codificadores FEC pueden generar la tasa de error BER (Bit Error Rate) de señales que pueden ser utilizados como retroalimentación para afinar la recepción.

Los códigos más populares de corrección de errores son los códigos cíclicos. Estos están diseñados con la notación  $(n,m)$ , donde  $n$  equivale al número original de bits y  $m$  al número de bits redundantes. Muchos algoritmos de detección de FEC, como el algoritmo de Viterbi suave, pueden tener datos analógicos, digitales y generar datos sobre la producción.

La aplicación FEC en GPON es deseable ya que la alta velocidad de datos reduce el presupuesto óptico de dos formas:

1. La alta velocidad de datos reduce la sensibilidad del receptor ya que entre más ancho de banda se tenga, se introduce más ruido.
2. Los efectos de la dispersión cromática son mayores a altas velocidades, lo cual resulta en una mayor degradación de la potencia a lo largo de la ruta óptica.

Por lo tanto, el uso del FEC ayuda, ya que puede agregar entre 3 y 6 dB al presupuesto de potencia.

### **2.2.6.2 AES ADVANCED ENCRYPTION STANDARD**

Advanced Encryption Standard (AES), conocido también como Rijndael21, es un bloque de cifrado adoptado como un estándar por el gobierno de los EE.UU, ampliamente analizado y que en la actualidad se lo utiliza en todo el mundo. AES no es precisamente Rijndael aunque en la práctica se la asocia de manera similar. El método AES tiene un tamaño de bloque fijo de 128 bits y un tamaño de clave de 128, 192, o 256 bits. Dado que en la computación 1 byte equivale a 8 bits, el tamaño de bloque fijo de 128 bits es normalmente  $128 / 8 = 16$  bytes. El sistema AES opera en una matriz de  $4 \times 4$  bytes, denominada matriz de estados o *state*, la mayoría de cálculos AES se realizan en un campo finito (matemática de números finitos).

El cifrado AES se especifica en términos de repeticiones de los pasos de procesamiento que se aplican para compensar las rondas en función de las transformaciones entre la entrada de texto y el resultado final del cifrado. Una serie de rutinas se aplican para transformar el sistema de cifrado de texto final al original, utilizando la misma clave de cifrado.

Para el cifrado, cada rutina o ronda de la aplicación del algoritmo AES (excepto la última) consiste en cuatro pasos:

- SubBytes. En este paso se realiza una sustitución no lineal donde cada byte es reemplazado con otro de acuerdo a una tabla de búsqueda.



- ShiftRows. En este paso se realiza una transposición donde cada fila del estado es rotada de manera cíclica un número determinado de veces.
- MixColumns. Operación de mezclado que opera en las columnas del estado, combinando los cuatro bytes en cada columna usando una transformación lineal.
- AddRoundKey. Cada byte del estado es combinado con la clave *round*; cada clave *round* se deriva de la clave de cifrado usando una iteración de la clave.

### 2.3 INTRODUCCION A REDES FTTX

La fibra óptica monomodo, con su ancho de banda prácticamente ilimitado, es ahora el medio de transporte preferido en redes de transporte largo y metropolitano. La utilización de cable de fibra óptica (en lugar de cable de cobre) reduce significativamente los costes del equipo y de mantenimiento, a la vez que aumenta drásticamente la calidad del servicio (QoS); y, ahora más que nunca, muchos clientes corporativos tienen acceso a servicios de fibra óptica de punto a punto (P2P).

Los cables de fibra óptica se implantan ahora en la última milla: el segmento de la red que va desde la oficina central (CO) al abonado. Dado que, hasta hace poco, ese segmento se basaba normalmente en el cobre, los servicios de alta velocidad disponibles para los clientes residenciales y las empresas pequeñas se limitaban a líneas de abonados digitales genéricas (xDSL) y transmisiones coaxiales de fibra híbridas (HFC). La principal alternativa (transmisión inalámbrica con servicio de retransmisión directa (DBS)) requiere una antena y un transceptor. Por tanto, en el contexto actual, con su enorme demanda de ancho de banda y de servicios de mayor velocidad a distancias mayores, el transporte basado en cobre e inalámbrico presenta las siguientes carencias:

- Ancho de banda limitado
- Diferentes medios y equipos que requieren un mantenimiento amplio

Pese a que los cables de fibra óptica superan todas esas limitaciones, uno de los obstáculos en la provisión de servicios de fibra óptica directamente a los hogares y

a las pequeñas empresas ha sido el elevado coste de conectar a cada abonado a la CO. Para superar los problemas de costes, actores importantes de la industria crearon la organización de normalización Red de Acceso de Servicio Completo (Full-Service Access Network, FSAN), la cual se fundó para facilitar el desarrollo de especificaciones adecuadas de sistemas de equipos de redes de acceso. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T) convirtió las especificaciones FSAN en recomendaciones. La especificación FSAN para redes ópticas pasivas (PONs) basadas en ATM se convirtió en una norma internacional en 1998 y fue adoptada por la ITU como recomendación G.983.1.

### 2.3.1 TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN FTTX

Nuevas normas como, por ejemplo, las establecidas por la ITU-T, el IEC y el Instituto de Ingeniería Electrónica y Eléctrica (IEEE), han incrementado en gran medida la estandarización del diseño, la capacidad de supervivencia y la seguridad de PONs.

Tipo	PON de banda ancha (BPON)				GPON (PON con capacidad de 1 Gigabit)				EPON (PON Ethernet)		
					GPON		GPON-ERG				
Norma	Serie ITU-T G.983				Serie G.984		G.984.6		IEEE 802.3ah		
Protocolo	ATM				Ethernet, TDM, TDMA				Ethernet		
Servicios	Voz, datos, video				- Voz, datos - Triple uso - Intercambio de archivos, aprendizaje remoto, tele-medicina, IPTV, video bajo demanda				Triple uso		
Distancia física máxima (OLT a ONT)	km	20				20		Hasta 60 (distancia ODN)		1000BASE-PX10: 10 1000BASE-PX20: 20	
Relación de división		hasta 32				hasta 64		16, 32 o 64 (restringida por pérdida de ruta)		1x16 1x32 (con FEC o DFB / APD)	
		Descendente OLT Tx		Ascendente ONU Tx		Descendente	Ascendente	Descendente	Ascendente	Descendente	Ascendente
Velocidad de transferencia de bits nominal	Mbit/s	155.52 622.08	1244.16	155.52	622.08	1244.16 / 2488.32	155.52 / 622.08 / 1244.16	2488.32	1244.16	1000	1000
Banda de longitud de onda operativa	nm	1480-1580	1480-1500	1260-1360 (MLM1, SLM)	1280-1350 (MLM2)	1288-1338 (MLM3)	-1480-1500 -1550-1560 (banda de mejora para video)	1260-1360 Posibilidad de utilizar longitudes de onda de banda C más cortas de forma descendente y 1550 nm de forma ascendente	1480-1500 (Banda básica)	OEO (ONU EXT): 1260-1360 OEO (OLT EXT): 1290-1330 OA: 1300-1320 (OBF)	100BASE-PX10: Descendente: 1490 nm + PIN Rx Ascendente: 1300 nm (óptica FP de bajo coste + PIN Rx) 100BASE-PX20: Descendente: 1490 nm + APD Rx Ascendente: 1300nm (óptica DFB + PIN Rx)
ORL <sub>MAX</sub>	dB	>32				>32				15	

Figura 13: Tecnologías usadas en FTTX

Ofrece la oportunidad de economías escala y menores costes, no concebibles anteriormente. La figura anterior describe los principales parámetros que definen esas normas.<sup>10</sup>

### 2.3.4 RED DE ACCESO AL USUARIO FTTH

Es una arquitectura de red de transmisión óptica, donde la red de bajada entra en la residencia u oficina del abonado y es suministrado por una fibra óptica exclusiva para este acceso. La tecnología FTTH utiliza para enlazar a los usuarios enlaces dedicados o una red óptica pasiva (PON), para los enlaces se utiliza una topología tipo estrella la cual provee una o dos fibras dedicadas a cada usuario, consiguiendo de esta manera dar un mayor ancho de banda a cada usuario.

Para los enlaces ópticos pasivos también se utilizan divisores ópticos splitters, lo que se busca es tener una fibra en el lado de la red y varias fibras en el lado del usuario.

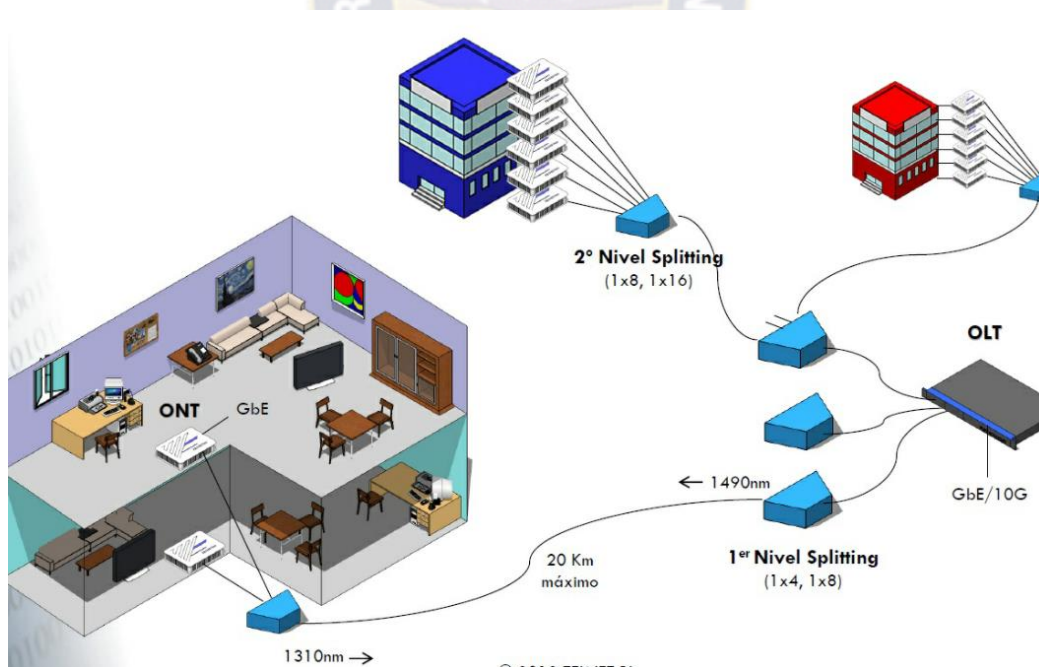
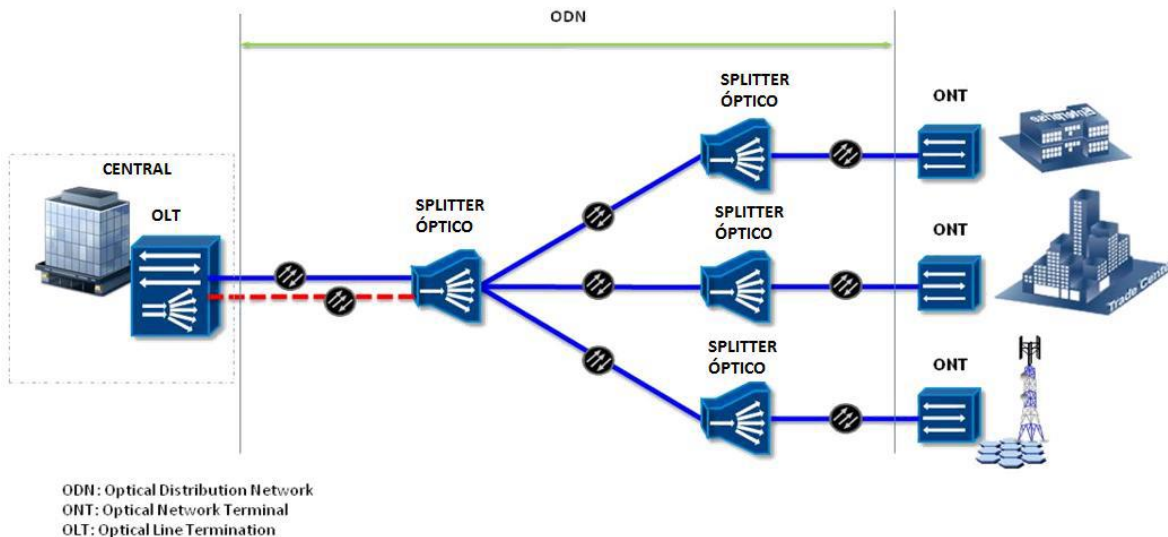


Figura 14: Arquitectura FTTH

## 2.4 ELEMENTOS DE LA RED GPON

Analógicamente a un sistema usual de comunicaciones, una red Gpon se divide en tres etapas analógicas al transmisor, receptor y medio de transmisión, nos referimos al OLT (Optical Line Terminal), ONT (Optical Network Terminal) u ONU (Unit Optical Network) y a la red ODN (Optical Distribution Network).



**Figura 15: Elementos de una Red Gpon**

En la figura apreciamos los componentes de una red Gpon.<sup>11</sup>

### 2.4.1 Red ODN (Optical Distribution Network)

En español Red de Distribución Óptica permite la comunicación desde la central hasta el usuario final, está conformada de fibra óptica, divisor óptico pasivo, armarios, empalmes y conectores.

#### 2.4.1.1 RED DE FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica, es el medio físico de la red y como medio de transporte es una guía de onda dieléctrica que opera a frecuencias ópticas, este medio de transporte tiene una atenuación por Km la cual está definida por la UIT en un valor de -0,3 a -0.5 dB/Km.

Fuente: <http://www.Furukawa.com>, 2012



**Figura 16: Cables de Fibra Optica.**

La instalación de cable de fibra óptica es uno de los elementos más costosos en la implantación PON y la forma de proceder depende de diversos factores, incluido el coste, los derechos de paso, las normas legales, la estética, etc., y de si la fibra se instalará en nuevas instalaciones (instalación 'greenfield') o en una desarrollo existente en rutas activas (superposición/sobreconstrucción). Se utilizan tres métodos básicos de instalación de cables:

- Enterramiento directo: Con este método el cable se coloca bajo el suelo, en contacto directo con el suelo; esto se hace excavando zanjas, arando o perforando.
- Instalación de conductos: En este caso, el cable óptico se coloca dentro de una red de conductos subterráneos. Pese a que la instalación inicial de conductos es más cara que una instalación bajo tierra directa, el uso de conductos hace que sea mucho más fácil agregar o quitar cables.
- Instalación aérea: Con este enfoque, el cable se instala normalmente en postes o torres sobre el suelo. Este tipo de instalación, normalmente usada para la sobre construcción, es por lo general más asequible que la instalación bajo el suelo y no requiere maquinaria pesada. El cable óptico puede asegurarse a un cable portador o pueden emplearse cables ópticos auto soportables.

Para áreas densamente pobladas con dificultades de derecho de paso, también hay disponibles varios métodos alternativos. Por ejemplo, el cable puede

instalarse en ranuras que se hayan cortado en el pavimento o dentro de tubos de desagüe, tubos de alcantarillado y tubos de gas natural.

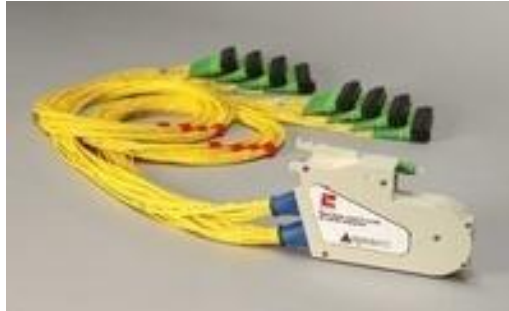
Las recomendaciones del cable de Fibra óptica norma G.65X monomodo se detallan a continuación.

Característica	Dato	UIT-G.652	UIT-G.653	UIT-G.654	UIT-G.655
Diámetro de campo modal.	Longitud de Onda	1310 nm	1310-1550 nm	1550 nm	1550 nm
	Rango de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$	7,8-8,5 $\mu\text{m}$	9,5-10,5 $\mu\text{m}$	8-11 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$	$\pm 0,8 \mu\text{m}$	$\pm 0,7 \mu\text{m}$	$\pm 7 \mu\text{m}$
Revestimiento del diámetro.	Nominal	125 $\mu\text{m}$	125 $\mu\text{m}$	125 $\mu\text{m}$	125 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,1 \mu\text{m}$	$\pm 0,1 \mu\text{m}$	$\pm 0,1 \mu\text{m}$	$\pm 0,1 \mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	2%	2%	2%	2%
Longitud de onda de corte del cable.	Máximo	1260	1270	1530	1480
Pérdida por macroflexión	Radio	37,5 nm	37,5 nm	37,5 nm	37,5 nm
	Numero de vueltas	100	100	100	100
	Máximo a 1550 nm	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB	0,5 dB
Coeficiente dispersión cromática	$\lambda 0$ min.	1300 nm	1500 nm		1530 nm
	$\lambda 0$ max.	1324 nm	1600 nm		1565 nm
	S0 max.	0,093ps/nm <sup>2</sup> *Km	0,085ps/nm <sup>2</sup> *Km		
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310nm	0,5 dB/Km			
	Máximo a 1550nm	0,4 dB/Km	0,35 dB/Km	0,22 dB/Km	0,35 dB/Km

**Tabla 4: Recomendaciones UIT – T G.65x, Fibra Óptica Monomodo**

### 2.4.1.2 DIVISOR ÓPTICO PASIVO SPLITTER

El splitter es un componente pasivo que incrementa su participación dentro de las redes ópticas, se encuentra disponible en distintas longitudes de onda para segunda y tercera ventana (1310 y 1550 nm). La estructura que posee es NxM (número de entrada y número de salida). En la figura 17 vemos un Splitter óptico para la observación de este elemento.



**Figura 17: Divisor óptico Splitter**

Permiten la derivación de la señal óptica a su ingreso, hacia dos o más fibras distintas a sus salidas. Generalmente vienen dispuestos de dos formas:

- Distribuidores en serie tipo T a manera de acopladores y su forma más comúnmente usada.
- Distribuidores en Estrella. Cada salida del splitter tiene un determinado valor de atenuación de la señal así como la atenuación total de inserción del equipo completo expresadas en dB.

También están definidas de acuerdo al tipo de longitud de onda que manejen, se clasifican en:

- Estándar SCC (*Standard Single Mode Coupler*), para longitudes de onda con desviaciones de señal mínimas o bajas tolerancias.
- De Una Ventana WFC (*Wavelength Flattened Coupler*), para un único rango de longitud de onda.

- De Dos Ventanas WIC (*Wavelength Independent Couplers*), para dos rangos de longitudes de onda.
- Multiplexores de Onda WDM (*Wavelength Division Multiplexers*) para dos longitudes de onda separadas.

Las soluciones que se implementan para la estructuración de las redes PON, están sujetas a la manera en la cual se conecten los splitters, pudiendo ser estructuras tipo conmutadas, en cascada o centralizadas.

Para el primer caso, los splitters son ubicados en la oficina central, nodo o terminal remoto. Su principal ventaja es la facilidad de adaptación de nuevos equipos, ya que cualquier cambio puede efectuarse en un mismo lugar físico.

Para el segundo caso, en cascada, se utiliza una combinación de splitters de múltiples o iguales radios, en diferentes localidades. Este diseño es particularmente efectivo en lugares apartados o fuera de áreas urbanas, donde el número de usuarios está distante. Para el último de los casos, el centralizado, se diseña de tal forma que un único splitter es ubicado dentro de una cabina desde donde el enlace con el usuario se efectúa con fibra óptica dedicada únicamente hacia ese usuario siendo flexible para su actualización a nuevas tecnologías al final de la red PON.

En la tabla 7 se indican valores típicos de pérdidas por inserción de los diferentes tipos de splitters que se hallan a nivel comercial.

<b>Característica</b>	<b>Dato</b>
<b>Atenuación</b>	<b>(Max.)</b>
1:2	-3,6dB
1:4	-7dB
1:8	-11dB
1:16	-14dB
1:32	-18dB
1:64	-21,5dB
<b>Normas</b>	UIT-T G.984.x

**Tabla 5: atenuación y normas de splitters**



### 2.4.1.3 ODF (OPTICAL DISTRIBUTION FRAME)

Se encuentra generalmente constituido por un chasis, una bandeja y un cassette, donde se resguardan las protecciones termo contraíbles y la fibra de reserva, cualidades que se hallan principalmente en ODFs de interior. Su similar ODF tipo externo cuenta con tamaños reducidos de acuerdo al número de conexiones o terminaciones a realizar.

Es un elemento pasivo que permite la conexión y terminación de un segmento de fibra mediante el uso de conectores con el fin de mejorar la manipulación, organización, mantenimiento y protección de dicho segmento. En su interior se dispone del espacio físico adecuado para el almacenamiento de reservas de fibra, así como empalmes y patch cords. La principal ventaja que brinda a la red, es la posibilidad de lograr la escalabilidad de los elementos a éste conectado, en un crecimiento adecuado y en orden.

### 2.4.1.4 MUFAS O MANGAS

Este es un dispositivo destinado a dar soporte mecánico a los empalmes de fibra óptica. Su finalidad es encerrar de forma hermética las conexiones de seccionamiento que se establecen en determinados puntos de la red, con la finalidad de brindar seguridad, protección y prevención de efectos generados por condiciones ambientales en tales puntos.



Figura 18: Mangas de Empalme

Existen mangas con propiedades que le dan al conjunto de empalmes una larga vida útil con químicos como el nitrógeno. En su estructura cuentan con las siguientes partes:

- Compartimento para empalme.
- Abrazaderas para cierre hermético.

#### 2.4.1.5 CONECTORES

En el diseño de una red conexas, los elementos que permiten el enlace de los distintos tramos deben poseer ciertas características que faciliten y no afecten en proporciones considerables las pérdidas que se conseguirían por su inserción.

Los conectores para fibra óptica, permiten la unión de extremos de dos fibras ópticas con la cualidad de cambio, es decir, reconectarse varias veces evitando ser de tipo fijo según sean las exigencias de la red y la necesidad de flexibilidad en su construcción. Pueden constituirse como conectores entrada/salida, para conexión de equipos de operación, prueba, monitoreo y mantenimiento.



**Figura 19: Tipos de Conectores de Fibra Óptica**

Además, se deben indicar los efectos que produce su utilización dentro de la red, como lo es la atenuación de la señal transmitida y la reflexión en la conexión. Están compuestos de tres elementos: Un cuerpo exterior de plástico o de metal. Un mecanismo de soporte del conector al acoplador (unión doble) del tipo roscado

o de inserción push-pull. Una férula o casquillo que posee un anillo de posicionamiento para la sintonía del conector.

Entre los parámetros más relevantes de los conectores en el aspecto óptico tenemos atenuación, pérdidas por retorno y clase de Longitud de Onda:

a) La atenuación considera la pérdida de potencia que recae sobre el conector y se halla definida por la siguiente ecuación:

$$A = 10 \log \frac{P_i}{P_o} \text{ (dB)}$$

Dónde: A = Atenuación del Conector

Pi = Potencia Óptica de Ingreso

Po = Potencia Óptica de Salida

b) Las pérdidas por retorno hacen a la potencia que se reflejan en el conector, en porción a la potencia que posee su interfaz.

$$RL = 10 \log \frac{P_r}{P_o} \text{ (dB)}$$

Dónde: RL = Pérdidas de Retorno (Return Loss)

Pr = Potencia Óptica Reflejada

Po = Potencia Óptica en Conexión

c) En cuanto a la longitud de onda que manejan se cataloga en dos tipos de fibras como:

Clase 1: cumplimiento de normalizaciones en el área de las telecomunicaciones en las bandas de 1260nm – 1360nm y 1480nm – 1580nm.

Clase 2: Comprende operaciones de mantenimiento en la banda de extendida de 1600nm – 1650nm.

En la mayoría de las aplicaciones con fibras ópticas se utiliza un cable conectorizado en sus extremos para unir el cable de transporte con el terminal óptico. El Jumper/Patchcord es un tramo de cable simplex monofibra o duplex con

ambos extremos conectorizados, mientras que un pigtail tiene un solo extremo conectorizado y el otro extremo se empalma mediante fusión al cable óptico. En el caso de los jumpers es posible la conexión de distintos tipos de conectores en cada extremo.

#### **2.4.1.5 EMPALMES DE FIBRA OPTICA**

Los empalmes pueden ser mecánicos o fundidos y están protegidos frente al entorno por cajas de empalmes. Los empalmes mecánicos son los menos caros pero tienen pérdida de inserción y retro reflexión más altas que los empalmes fundidos, que tienen una pérdida muy baja (0,02 dB) y prácticamente ninguna retro reflexión. No obstante, los empalmes fundidos exigen un caro y amplio equipo de empalme por fusión y un técnico bien instruido. El número de empalmes de un enlace depende de la longitud de las secciones de cable utilizadas (las longitudes de sección típicas son  $\leq 2$  km, 4 km y 6 km). Cuanto más corta es la longitud, más sencillo es el mantenimiento, pero el montaje completo del cable requiere más empalmes más tiempo y más dinero. Por el contrario, la utilización de secciones de cable más largas es menos costosa, pero el mantenimiento posterior es más complicado y caro. Al empalmar diferentes tipos de fibra y realizar pruebas con un método basado en reflectometría (OTDR o iOLM), puede aparecer una pérdida o ganancia importante debido a la diferencia en los diámetros de campo-modo de las fibras. Un buen ejemplo de esto sería empalmar fibra G625D con fibra G657.<sup>12</sup>

#### **2.4.2 OLT OPTICAL LINE TERMINATION**

La OLT (Optical Line Terminal) 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. La OLT es utilizada en redes FTTx (Fiber To The X) como concentrador de clientes. Su función es distribuir el acceso a cada usuario de la red y realizar tareas de gestión, tales como control de acceso, gestión de banda, configuración de servicios, etc.

---

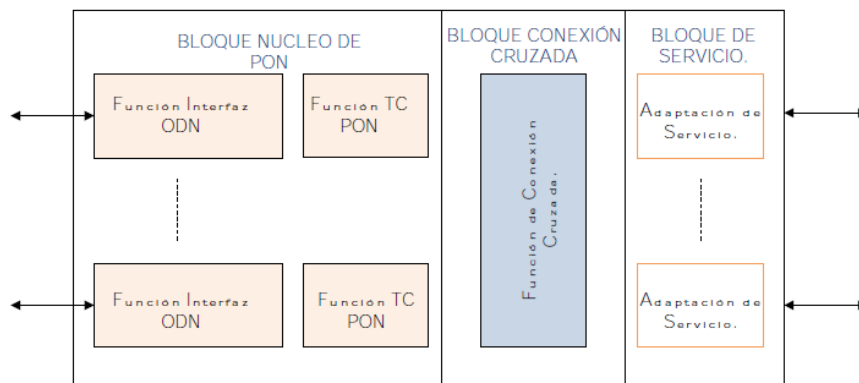
Fuente: Guía EXFO FTTH PON 2013

La OLT recibe el tráfico Ethernet a través de sus interfaces de uplink y hace la conversión en señal óptica en acuerdo con el estándar GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network), cumpliendo los requisitos de la norma ITU-T G.984. Tal señal es llevada por la red PON (Passive Optical Network) hacia el equipo de acceso de los abonados, que es la ONT (Optical Network Terminal). Estos, por su vez, envían sus respectivas señales ópticas en el sentido contrario de la red, hacia la OLT, para cerrar el enlace de comunicación. Cada interface GPON de la OLT atiende hasta 64 abonados, en un alcance de hasta 20km. La velocidad en el sentido de downstream es de 2,5Gbps, mientras que el canal de upstream opera a 1,25Gbps.

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.

Para la conexión de datos de la OLT con la ONT se emplea un cable de fibra óptica para transportar una longitud de onda de bajada (downstream). Con el uso de un divisor pasivo que divide la señal de luz que tiene a su entrada en varias salidas.

En resumen lo que se pretende manejar es una arquitectura punto multipunto como la ya explicada en líneas anteriores. Cabe resaltar que los datos de subida (upstream) desde la ONT hasta la OLT, son distribuidos en una longitud de onda distinta para evitar colisiones en la transmisión downstream son agregados por la misma unidad divisora pasiva, que hace las funciones de multiplexador en la dirección upstream del tráfico. Esto permite que el tráfico sea receptado desde la OLT sobre la misma fibra óptica que envía el tráfico downstream. Una OLT consta de tres partes principales como se puede observar en la figura.



**Figura 20: Partes de una OLT**

**Bloque 1. Función de interfaz de puerto de servicio:** Consta de la función de interfaz ODN (*Optical Distribution Network*) y la de TC PON (*Transmission Convergence PON*) que incluye el entramado, el control de acceso al medio, OAM (*Operation, Administration and Maintenance*), DBA (*Dynamic Bandwidth Assignment*), alineación de unidades de protocolo para las funciones de conexión cruzadas, la gestión de la ONU (*Optical Network Unit*), cada una de estas selecciona un modo ya sea ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) o GEM (*G-PON Encapsulation Method*).

**Bloque 2. Función de conexión cruzada:** El bloque de conexión cruzada proporciona una trayectoria a las comunicaciones entre el bloque anterior y el de servicio. Las tecnologías usadas para encaminar los datos están en función de los servicios a prestar y de la arquitectura interna de la OLT. Una de las funciones principales de la OLT es proporcionar la funcionalidad de la conexión cruzada en el modo seleccionado en el bloque anterior.

**Bloque 3. Interfaz de distribución óptica ODN (*Optical Distribution Network*):** En este bloque se proporciona la información entre las interfaces de servicio y trama de la sección PON.

### 2.4.3 ONT (OPTICAL NETWORK TERMINATION)

La ONT (*Optical Network Terminal*) es un equipo utilizado en redes FTTx (*Fiber To The X*) para acceso de los abonados. La ONT recibe la señal óptica de la red PON (*Passive Optical Network*) y ofrece una interface de conexión para el abonado. En paralelo, la ONT también envía los datos del abonado para la OLT (*Optical Line*

Terminal), para establecer el enlace de comunicación con la central. La comunicación óptica es realizada de acuerdo con el estándar GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network), cumpliendo con los requisitos de la norma ITU-T G.984.

A veces están instalados al aire libre donde permiten acceso a la estación de cableado y sirven como un punto de prueba conveniente para la verificación de la integridad de la llegada de la señal de fibra óptica así como del cableado hacia el interior del edificio del abonado. El ONT es el elemento que se sitúa habitualmente 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.

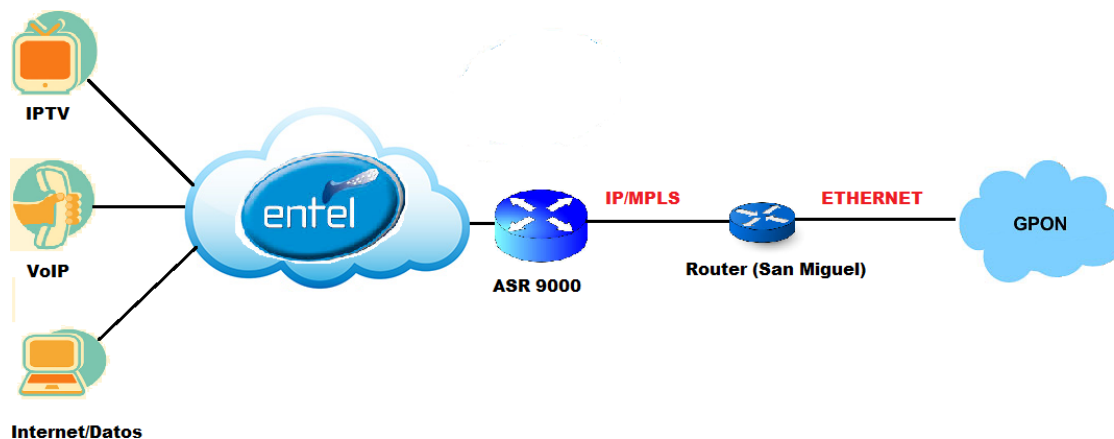
En la medida que el ONT debe suministrar la corriente a la línea de cobre clásica de la instalación existente, hay que tener cuidado en no sobrepasar el número máximo de terminales permitidos por el fabricante, ya que ello podría comportar un mal funcionamiento. Aparte de esa limitación el ONT debe obtener su suministro de corriente de la red eléctrica del local del cliente, para mantener el servicio en el caso de un corte de corriente muchas ONT tienen la opción de una batería de backup.

Debido que no existe interoperabilidad total entre la OLT y ONT GPON, los fabricantes de éstas deben ser los mismos para que exista compatibilidad entre sí. En los sistemas PON y GPON, la señal se transmite a las instalaciones del cliente utilizando tecnologías de fibra óptica. A diferencia de muchas de las tecnologías telefónicas convencionales, estos sistemas no proporcionan la corriente para los terminales locales, ni son adecuados para la conexión directa de los equipos del cliente, de ahí la necesidad del ONT. Un ONT (terminal de red óptica) se utiliza para terminar la línea de fibra óptica, proporcionar corriente a los teléfonos del cliente y demultiplexar la señal en sus componentes: Teléfono sobre IP (con simulación de la línea clásica sobre par de cobre - POTS), Televisión por IP y conexión a Internet .

### 3.1 SITUACIÓN DE ENTEL S.A

Actualmente la empresa nacional estatal Entel S.A. se encuentra en plena etapa de implementación de redes Gpon a nivel Nacional, específicamente en su tercera fase, Entel inicio la activación de este servicio a principios del año empezando por las escuelas públicas dentro de la zona de cobertura de las primera dos fases.

Realizaremos una descripción de la red Metro Ethernet que es por la cual se incorporara la red de diseño Gpon con la nube, Entel cuenta con esta red que se traduce en una arquitectura tecnológica destinada a suministrar servicios de conectividad de datos en una Red de área metropolitana MAN/WAN. Estas redes denominadas "multiservicio", soportan una amplia gama de servicios y aplicaciones es útil para aplicaciones como Telefonía IP y Video IP.



**Figura 21: Red Metro Ethernet de acceso a la nube de Entel.**

Las redes Metro Ethernet pueden utilizar líneas de cobre, lo que garantiza la posibilidad de despliegue en cualquier punto del casco urbano, soportando el 100% de los servicios demandados por los proyectos.



Las redes Metro Ethernet suelen utilizar principalmente medios de transmisión guiados, como son el cobre y la fibra óptica, existiendo también soluciones de radio licenciada, los caudales proporcionados son de 10 Mbit/s, 20 Mbit/s, 34 Mbit/s, 100 Mbit/s, 1 Gbit/s y 10 Gbit/s.

La tecnología de agregación de múltiples pares de cobre, (MAN BUCLE), permite la entrega de entre 10 Mbit/s, 20 Mbit/s, 34 Mbit/s y 100 Mbit/s, mediante la transmisión simultánea de múltiples líneas de cobre, además esta técnica cuenta con muy alta disponibilidad ya que es imposible la rotura de todas las líneas de cobre y en caso de rotura parcial el enlace sigue transmitiendo y reduce el ancho de banda de forma proporcional. La fibra óptica y el cobre, se complementan de forma ideal en el ámbito metropolitano, ofreciendo cobertura total a cualquier servicio a desplegar.

### **3.2 SITUACIÓN DE LA ZONA LOS ROSALES DE ACHUMANI.**

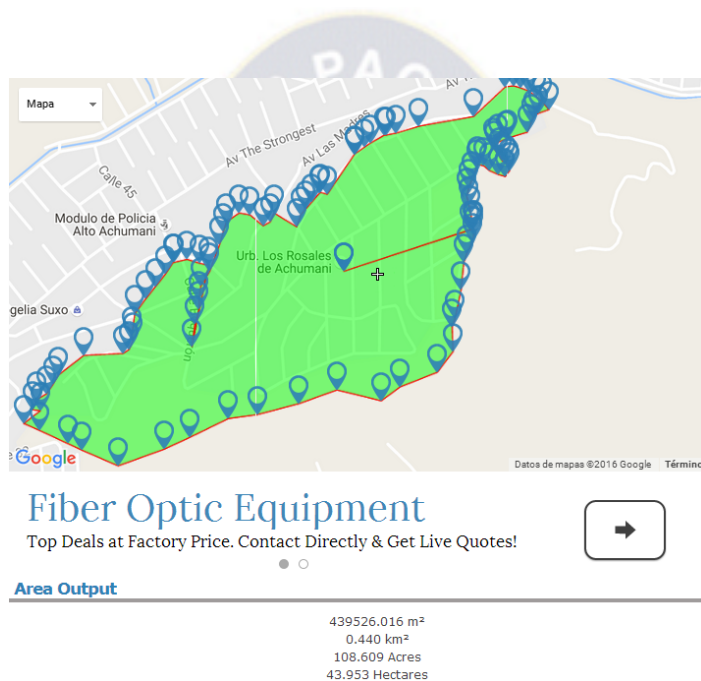
La zona Los rosales de Achumani, es una pequeña zona residencial y de pequeño comercio sin embargo al igual que muchas zonas alejadas del centro Metropolitano de la ciudad de La Paz se encuentra en un crecimiento exponencial, lo que lo hace muy atractiva para los propósitos del presente trabajo de aplicación.

Al igual que las zonas vecinas cuenta con el servicio de TV cable y datos proporcionado por Tigo Star que cuenta con su red Híbrida de HFC, el cual representa la mayor competencia para los propósitos del trabajo, sin embargo Entel Pretende extender su red Gpon por todo el medio con capacidades mayores a la competencia.

La zona los Rosales al ser una zona relativamente tranquila, alejada del centro metropolitano, representa una muy buena alternativa de residencia, es por tanto el crecimiento inmediato de la población en esta. En la actualidad cuenta con una población de 3400 habitantes aproximadamente.

### 3.2.1 ÁREA DE COBERTURA DE LA RED

Se pretende con el trabajo de aplicación brindar cobertura a la zona los Rosales de Achumani que como muchas zonas de nuestra ciudad se encuentra limitada por accidentes geográficos que la rodean. Una red Gpon de Clase B+ que empleamos podría brindar cobertura hasta una distancia de 20Km, es decir la distancia entre el nodo óptico y el usuario más alejado no podría superar esta distancia de separación, para nuestro caso se cuenta con una distancia de 1,3 Km máxima.



**Figura 22: Área de cobertura Geográfica zona los Rosales de Achumani**

La superficie del área de cobertura de La zona los Rosales de Achumani es aproximadamente de 439526 m<sup>2</sup>, este resultado fue obtenido mediante cálculo de polígonos en Google Earth y Free Maps Tools.

Con el objetivo de determinar la demanda que debe satisfacer esta red se procedió a realizar un estudio de campo en el área delimitada de la red, estas observaciones permite establecer el dimensionamiento de nuestra red, se realizó un conteo particularizado e individualizado las casas, número de departamentos

pero, no se contabilizaron locales comerciales debido a que en la observación de campo se identificó que por lo general se tratan de tiendas de barrio.

Los resultados de las observaciones de campo permiten establecer cuantificaciones globales que son mostradas en la tabla 6. Los datos del total del área de cobertura a todas las áreas sin contar algunos establecimientos particulares que se mencionaron con anterioridad. A los usuarios que se intenta llegar en especial son a las viviendas y los departamentos mediante nuestros métodos de acceso.

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Viviendas	773
Departamentos	95
<b>TOTAL</b>	<b>868</b>

**Tabla 6: Número de viviendas Los Rosales**

En consecuencia, se considera 868 viviendas en La zona Los Rosales de Achumani.

### **3.2.2 DEMANDA DE LA RED GPON EN LOS ROSALES DE ACHUMANI**

Para determinar la demanda se tomaran un porcentaje del total del estudio de mercado. El porcentaje será del 44% dato que es la penetración de la empresa Entel en el mercado a nivel nacional, de acuerdo a datos institucionales de la ABI (Agencia Boliviana de información).

Por cuanto, el 44% de penetración considerada en 868 viviendas es 381.92 usuarios potenciales a los que se pretende brindar el servicio.

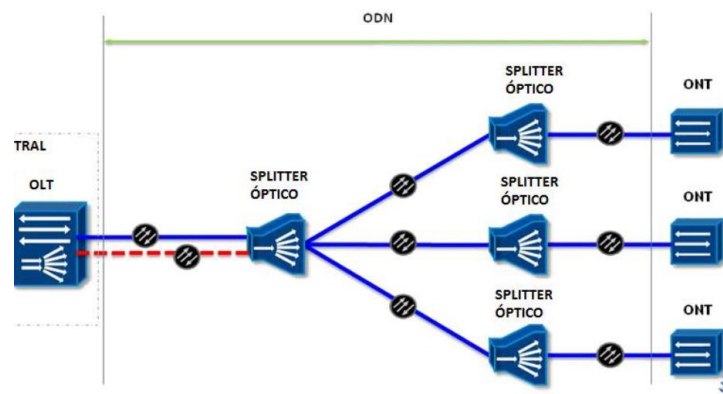
### **3.3 DISEÑO DE LA RED GPON**

Resulta evidente que la parte central del trabajo, se concentra en el presente capítulo, donde, configuramos la organización, diseño y la memoria de cálculos que van a demostrar la estructura de disposición de la red GPON, equipos y la

ingeniería estructural de la disposición de la red, los equipos y la sistematización para el funcionamiento del sistema. Además de ello, se incorpora un proceso sistematizado de simulación, que permitirá evidenciar la funcionalidad de la red, los equipos y del trabajo mismo.

### 3.3.1 ESQUEMA DE RED GPON A UTILIZAR

El diseño propuesto para la red GPON se basa en una topología de redes árbol ya que es una manera óptima de utilizar el medio físico. Además de ser la topología que ENTEL propone a este tipo de redes.

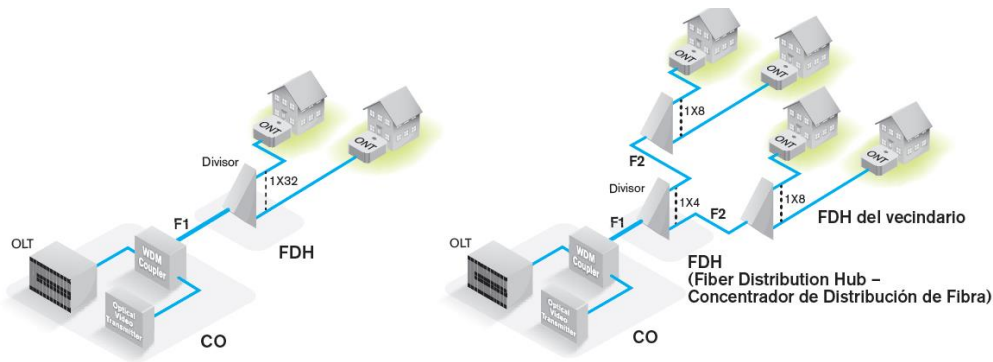


**Figura 23: Esquema GPON a utilizar**

La fibra óptica será distribuida como ramificaciones en un solo sentido en el área de nuestra red. Cabe destacar que el diseño solo abarca desde la OLT definida en el proyecto, que será el equipo central hasta los equipos terminales OLT.

### 3.3.2 TIPO DE DISTRIBUCIÓN A USAR

Para la distribución se debe decidir en cuantos niveles de splitter se va usar en el diseño de la red. Y con eso se verá si la distribución de splitters va ser centralizado o en cascada. En la figura 24 se puede observar como es una arquitectura centralizada y en cascada.



**Figura 24: Niveles de Distribución Óptica**

La arquitectura centralizada presenta varios aspectos como ser:

- Mayor costo en fibra en la planta externa.
- Fácil mantenimiento.
- Mayor despliegue de la fibra óptica.
- Optimiza el uso de tarjetas PON.
- Implican mayor pérdida por inserción (conectores).
- Permiten puntos de acceso y prueba.

La arquitectura en cascada presenta aspectos como:

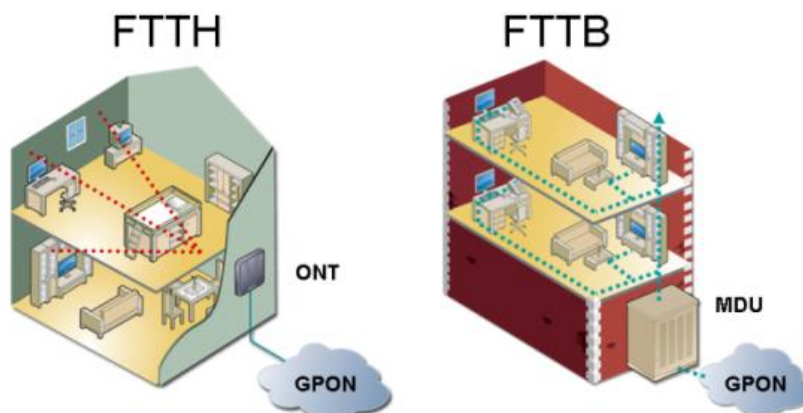
- Menor costo en planta externa.
- Permiten instalación en cierres subterráneos, poste o fachada.
- Implican menor pérdida por inserción (empalme).
- Menor eficiencia en el uso de puertos PON.

Viendo estos dos tipos de arquitecturas existentes en el diseño se opta por la arquitectura en cascada debido a que la zona en que estará la red es amplia y con una densidad media de viviendas y departamentos, por lo cual dos niveles de splitter es la manera más adecuada de cubrir el área delimitada. Además que tener una arquitectura centralizada hacia los usuarios desde un punto significaría un mayor costo en la planta externa debido a la fibra óptica que se debe ramificar por la zona, se realizara en una primera etapa de división óptica con una relación de 1:4, para posteriormente realizar una segunda división con relación a 1:16,

llegando a obtener una relación total por filamento de fibra o puerto óptico en OLT de 64 usuarios como máximo.

### 3.3.3 RED DE ACCESO AL USUARIO.

La red de acceso que se empleara en nuestra red para llegar al usuario será las de FTTH que serían para las viviendas del área. También existen otros medios de acceso que la empresa ENTEL S.A. considera como por ejemplo FTTB el cual nos permite el acceso a edificios, considerando que en la zona aún no se cuenta con construcciones de este tipo al momento solo piensa implementar esta red de acceso cuyo elemento principal es la fibra óptica.

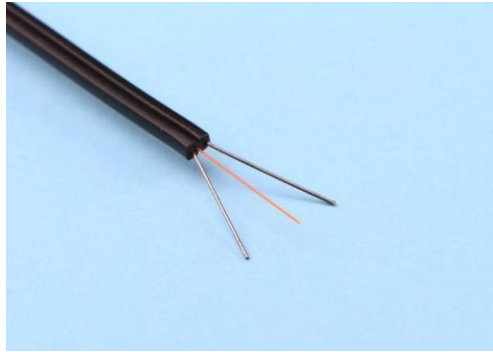


**Figura 25: Topologías de acceso empleadas por Entel**

Se considera los elementos que conforman la red FTTH a partir del terminal NAP (Network Acces Point) a la roseta de usuario.

#### 3.3.3.1 TIPO DE FIBRA OPTICA

Se consideró que por usuario solo es necesario un filamento de fibra óptica el cual brindara la conexión desde el punto de acceso a la red (Nap) a la roseta de usuario Final. Analizando estos temas se optó por elegir el cable de Fibra Optica denominada Drop, que cuenta con solo dos filamentos de fibra óptica y que la diferencia en precio económico al de un filamento no es significativa.



**Figura 26: Cable Drop**

El cable Drop al ser muy flexible nos permite una estética instalación en interiores de domicilios, esta debe ser protegida por ductos, cable canal dependiendo al acceso que se presente en la acometida de cada usuario.

### **3.3.3.2 ROSETA DE USUARIO FINAL**

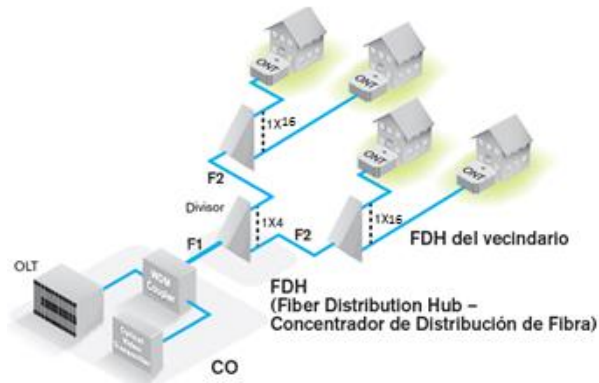
Es un elemento pasivo interface entre la red Gpon y el ONT, se debe instalar adecuadamente en interiores, para el caso de domicilio. En un extremo de esta se cuenta con el cable Drop y al otro con un patch cord de Fibra Óptica de conecta hacia el equipo ONT, Su instalación generalmente se realizara en paredes.



**Figura 27: Roseta de usuario final**

### **3.3.4 TOPOLOGÍA DE RED DE ACCESO AL USUARIO**

La red de acceso a utilizar para el diseño, está básicamente basada en fibra óptica FTTH.



**Figura 28: Topología de red de Acceso al usuario FTTH**

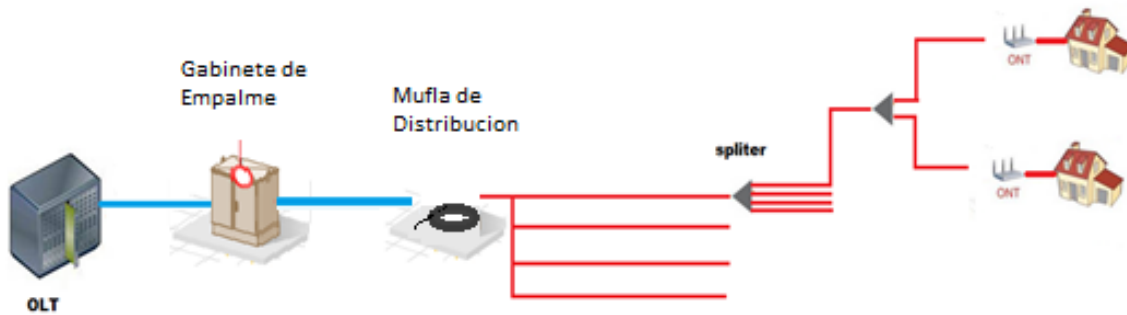
En el acceso FTTH como se muestra la figura 28, la fibra va desde la OLT hasta el equipo terminal ONT que se encuentra en el domicilio del usuario. Este acceso se realizara mediante tendido aéreo.

Considerando que la zona no cuenta aún con grandes edificaciones las cuales ameritan para su acceso la tecnología FTTB, razón por la cual se opta por solo proponer la tecnología de acceso FTTH.

### **3.3.5 ELEMENTOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO**

La topología de nuestra red comienza desde nuestra OLT donde se encuentra nuestras tarjetas GPON de ahí pasara a una ODF para la distribución de la fibra óptica, en ese punto partirá una fibra de 120 hilos a una cámara en donde se instalara una mufla o manga empalme en la cual se distribuirá la fibra de 120 hilos a una fibra de 24 hilos con la que se llegara a cubrir toda la red, para repartir y llegar a cada uno de los usuarios se harán divisiones ópticas con splitters y así llegar a las viviendas, posteriormente se realizara el acceso por medio de fibra óptica hasta ONT.





**Figura 29: Topología del Diseño**

Se debe mencionar que se propone una manga de empalme para la ramificación que dé cobertura a otra zona vecina a la cual se realiza el trabajo como ser Huallani, Kellumani entre otras.

### 3.3.6 ELEMENTOS DE LA RED GPON DEL DISEÑO

Para establecer nuestra topología es necesario analizar ciertos criterios para el diseño de nuestra red como ser:

- Nodo Óptico OLT y sus elementos.
- Diseño de la Red ODN y elementos que la conforman.
- ONT u ONU

A tiempo de señalar la ubicación de cada uno de estos, describiremos las características de cada uno de ellos.

#### 3.3.6.1 NODO OPTICO Y SUS ELEMENTOS

La ubicación de la OLT es en el lugar donde se encuentra nuestros equipos y se hará la conexión con nuestro nodo de Ethernet. Nuestra OLT será ubicada en la Radio base Entel existente en la zona Los Rosales. El hecho de contar con un predio de la empresa en consideración define la estructura de red, ya que se proyectará la distribución de cables de fibra óptica convergente hacia este punto.



**Figura 30: Ubicación de OLT**

En la figura se muestra la ubicación de la OLT (Latitud:  $16^{\circ}30'39.08''S$  Longitud:  $68^{\circ}3'2.64''O$ ), este punto se considera como el punto de partida ya que de aquí se repartirá la fibra óptica para así ramificarse por toda el área de cobertura de Los Rosales.



**Figura 31: Fotografía Exterior de Rbs. Los Rosales Entel**

La figura muestra el nodo los Rosales de Achumani perteneciente a Entel existente, es en este nodo en el que se considera la instalación de los equipos principales de la red.

### 3.3.6.1.1 RACK

El rack sirve para albergar equipos electrónicos o de telecomunicaciones, puede tener forma de bastidor o estar expuesto sin recubrimiento alguno. Sus dimensiones están normalizadas para permitir la compatibilidad con los equipos, independientemente de quien sea su fabricante.

Algunos racks (tipo armario) cuentan con uno o más ventiladores para evitar el recalentamiento de los equipos. En la figura se puede apreciar algunos tipos de racks.



**Figura 32: Rack a instalar en Nodo Optico**

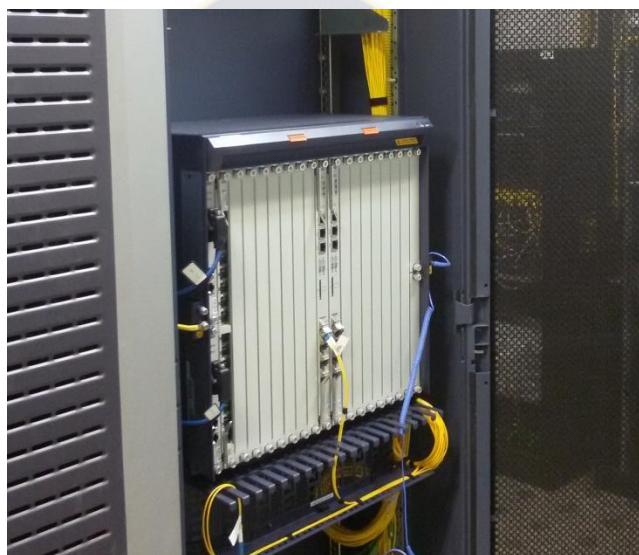
Para esta red de acceso se necesita dos racks ubicados en nodo central o central óptica, uno para el equipo OLT el cual albergara las tarjetas ópticas, y el otro para la instalación de la ODF.

### 3.3.6.1.2 EQUIPO OLT (OPTICAL LINE TERMINAL)

Según lo observado en los estudios, se obtuvo como resultados características que puedan satisfacer a los posible carga de usuarios, lo cuales deben cumplir

con las especificaciones requeridas y garantizar su buen funcionamiento. Adicionalmente, la empresa que ofrezca los equipos, deben cumplir con los siguientes términos:

- Asistencia técnica completa
- Responsabilidad de los trámites de importación y nacionalización de los equipos
- Sistema completo de administración centralizado de la red GPON.
- Responsabilidad de las licencias de GPON.



**Figura 33: OLT Huawei**

El equipo debe ser rentable y escalable, proporcionar interoperabilidad de varios proveedores es totalmente compatible con las especificaciones UIT-T G.984. Debe proporcionar integra capacidades ultra elevadas de agregación y conmutación, admitir una capacidad de panel de interconexión posterior de 3,2 T, tener una capacidad de conmutación de 960 G, 512 000 direcciones MAC y un máximo de 44 canales de acceso 10 GE o 768 puertos GE. Además de estas otras características:

- Aplicaciones: Servicios Triple play, FTTH, FTTB
- A. Banda: soporta hasta 16 tarjetas GPON, velocidades de 2.4/1.2 Gbps.
- Multiservicios WAN: puertos Gigabit Ethernet, puertos 10G Ethernet.
- Estandar: cumple la norma ITU-T G984.

- Servicios convergentes.
- Fibra monomodo.
- Soporta VOIP, interfaz redes TDM y alarmas.
- Posee una interfaz de gestión.

Estas características Técnicas del equipo OLT Huawei MA5680T nos permitirá realizar cálculos posteriores en el presente capítulo

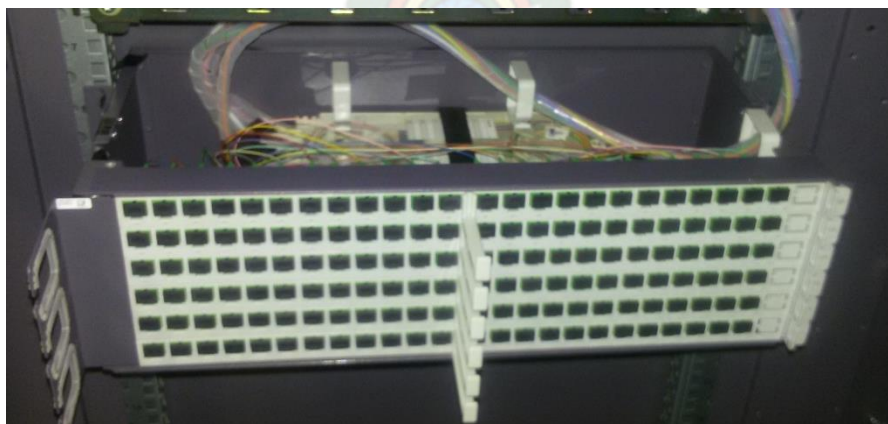
<b>OLT (Optical Line Terminal)</b>	
Potencia óptica mínima del Transmisor OLT (dBm)	+3
Potencia óptica máxima del Transmisor OLT (dBm)	+7
Sensibilidad	-32

**Tabla 7: Características de los equipos recomendación de la UIT G-984.2**

### 3.3.6.1.3 ODF BANDEJA DE DISTRIBUCION DE FIBRA OPTICA

Se utilizara bandejas de Fibra óptica de con capacidad de 120 puertos mínimamente, esto debido a la capacidad de la fibra óptica de acceso a la Estación Base cuenta con esta estructura.

Esta capacidad nos permitirá acceder al nodo óptico con facilidad en caso de la ampliación a una segunda zona, el ingreso al nodo óptico desde la cámara de distribución propuesta al ODF está planificado para su expansión.

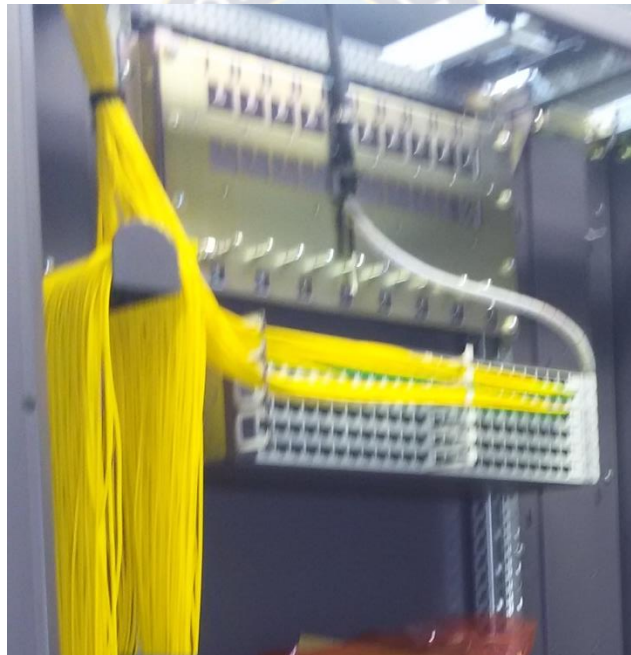


**Figura 34: Bandeja de Distribución de Fibra Óptica**

La bandeja es fabricada por la empresa Huawei, Entel hizo la adquisición de esta en conjunto con el gabinete o Rack, cuenta con 148 puertos a disposición lo que incluye 148 acopladores SC/APC, pigtales SC/APC y demás insumos para su correcta instalación.

#### **3.3.6.1.4 PATCH CORDS**

Para realizar la conexión de la Bandeja de Fibra Óptica y el OLT, necesitamos la inclusión de Patch Cords SC/APC de una longitud acorde a la separación física del ODF al OLT, 10 metros supone una muy buena alternativa de prevención.



**Figura 35: Patch Cords**

En el caso propio utilizaremos 10 Piezas los cuales cubrirán 10 puertos y por ende 640 usuarios o abonados (10x64).

#### **3.3.6.2 DISEÑO DE LA RED ODN Y ELEMENTOS QUE LA CONFORMAN**

Consideraremos en esta etapa la distribución de los elementos pasivos de una red GPON. Partiremos del punto más cercano al OLT o nodo óptico para posteriormente ir abarcando sistemáticamente al extremo del usuario ONT.

### 3.3.6.2.1 CÁMARA SUBTERRÁNEA DE DISTRIBUCIÓN Y MUFLA DE EMPALME

Para una correcta distribución de la fibra óptica proveniente de la central óptica es necesario la construcción de una cámara subterránea que albergue una mufla o manga de empalme capaz de ramificar una fibra óptica de 120 hilos a varias fibras derivadas de 24 hilos que se dispersen en distintas direcciones. Se prevé la construcción de una cámara subterránea en la salida del nodo óptico.



**Figura 36: Ubicación de cámara de Distribución**

La cámara de distribución subterránea tiene una dimensión de 1,20x 0,50 Metros.



**Figura 37: Manga de Distribución**

La mufla de empalme deberá tener capacidad de albergar varias fibras ópticas, y después de realizar los empalmes se deberá instalar como se muestra en la figura 37.

### 3.3.6.2.2 UBICACIÓN DE DIVISORES ÓPTICOS (SPLITTERS)

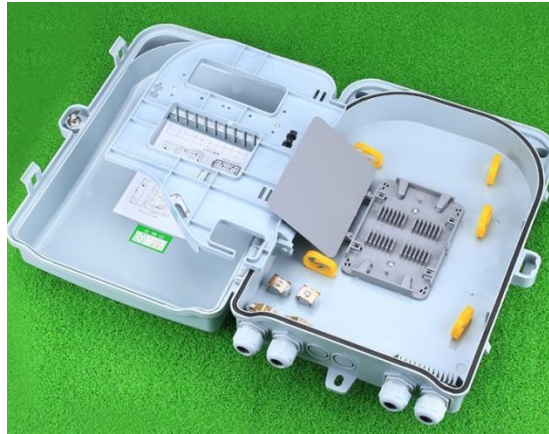
Los splitters ópticos pasivos son los elementos que ayudaran a distribuir la red y así llegar al usuario ya que permite conexiones punto a multipunto. Es necesario recordar que en redes GPON cada puerto de cada tarjeta de la OLT permite conectar hasta 64 usuarios con una misma fibra. Por lo que el splitter es un elemento fundamental en nuestro diseño ya que permite que de una fibra puedan ser distribuidas otras fibras.



**Figura 38: Divisores Ópticos considerados en diseño**

Estos splitters serán instalados dentro de las terminales Nap (Network Access Point), como se ve en la figura 39, que estos a la vez son instalados en los postes y deberán proporcionar protección a los splitters, empalmes y/o acoples entre los splitters y la red de Fibra Óptica.





**Figura 39: Terminal Nap (Network Acces Point)**

Entel considero la inclusión de terminales Nap de la empresa Huawei y Tyko para la ejecución del proyecto, por lo cual ya se cuenta con este material en almacenes.

### 3.3.6.2.2.1 ATENUACIÓN DE SPLITTER ÓPTICO

El splitter óptico o divisor óptico como ya mencionamos es fundamental en las redes GPON, ya permite dividir la señal óptica de entrada en N ramas de salida. Es muy importante tomar en cuenta la cantidad de pérdidas que introduce, ya que éstas son directamente proporcionales a su número de salidas.

Los Splitters que poseen una pérdida dependiendo cual sea su división la cual se muestra en la siguiente tabla:

<b>Splitters</b>	<b>Atenuación dB</b>
1x2	3,50
1x4	7,00
1x8	10,50
1x16	14,00
1x32	17,50
1x64	21,00

**Tabla 8: Atenuación de Divisores ópticos por número de divisiones**

Los splitter considerados para el diseño corresponden a la siguiente tabla.

Configuración de Splitter	Pérdida de Inserción en dB
Splitter 1:4	7
Splitter 1:16	14

**Tabla 9: Tabla Atenuación de divisores Ópticos considerados en diseño**

Estos son los valores de atenuación de splitter que consideraremos para la elaboración de cálculos posteriormente.

Mediante un relevamiento en la zona de Los Rosales de Achumani se determinó los puntos en los cuales se debe prever la instalación de las terminales Nap, esto considerando los posibles usuarios existentes (casas residenciales, departamentos) y las futuras.



**Figura 40: Puntos de acometida a abonados**

La nominación de cada una de estas corresponde a la inclusión de splitters (1x4 seguido por 1x16) en los Nap A y la prolongación mediante fibra la derivación de los restantes hasta los puntos B, C, y D que corresponden a la capacidad del splitter 1x4.

### 3.3.6.2.2 CANTIDAD DE DIVISORES ÓPTICOS A UTILIZAR

Para la inclusión del diseño se prevé la siguiente cantidad de splitters.

SPLITER	CANTIDAD (Pzas.)
1X4	9
1X16	24
<b>TOTAL</b>	<b>33</b>

**Tabla 10: Cantidad de Divisores ópticos**

Considerando que cada puerto Gpon, cuenta con la capacidad de cubrir hasta 64 abonados y se emplean 10 puertos, por tanto la capacidad de usuarios máximo es de 640 abonados, esto considerando los puntos de escalabilidad o ampliación que se ha contemplado.

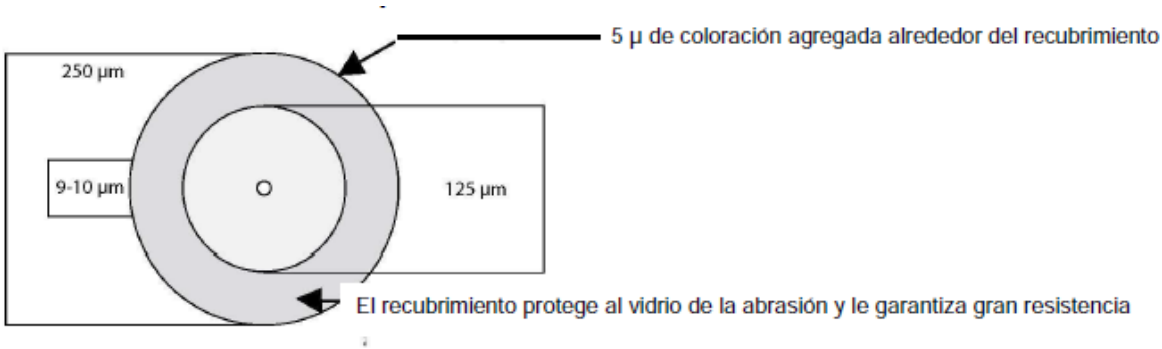
### 3.3.6.2.2 TIPO DE FIBRA ÓPTICA

Como se vio en el marco teórico, existen tipos de fibras ópticas pueden ser monomodo o multimodo, estas últimas generalmente se emplean en enlaces de distancias cortas como ser menos de 1 km, sin embargo, para este tipo de enlaces se utilizan fibras de tipo monomodo.

Para comunicaciones ópticas a gran distancia se emplean actualmente cables de fibras monomodo, formados por grupos de varios cientos de fibra bajo una misma cubierta de protección, debido sobre todo a su gran ancho de banda. En la red se tendrán dos tipos de tendido: Tendido de fibra óptica aérea y tendido de fibra óptica subterránea.

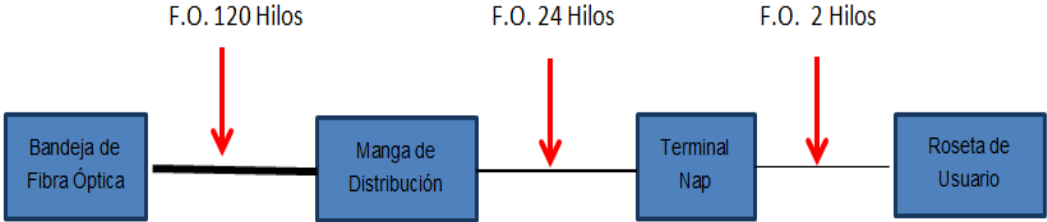
El tendido aéreo está previsto a partir de la manga de distribución hacia toda la red de la zona, el tendido de la red subterránea se realizara en el ingreso al nodo Los Rosales hasta la manga de distribución.

El tipo de fibra óptica que utilizará esta red de acceso es monomodo de norma G.652D de 24 hilos de marca HUAWEL, esta es la cual ya posee la empresa y la cual se está usando en este tipo redes. Este medio físico es el que conectará físicamente al OLT con las ONTs de cada usuario esta fibra óptica tiene una asignación de colores. Esta fibra óptica tiene las siguientes características:



**Figura 41: Fibra óptica monomodo ITU-T G.652**

La red Gpon a partir de la ODF al lado de la OLT, hasta la roseta al lado de la ONT será enteramente conectada a través de fibra óptica, debe haber una selección de capacidad de filamentos de la fibra a lo largo del tramo.



**Figura 42: Configuración de Fibra Óptica en el Diseño**

Es por tal razón que se emplea fibra de 120 filamentos de fibra en el tramo de acceso a la ODF ubicado en el nodo Entel hasta la cámara subterránea en donde se encuentra la manga de distribución, a partir de ahí se emplea fibra óptica de 24 filamentos hasta la ubicación de las terminales Nap, la acometida al usuario desde

el terminal Nap a la roseta solo necesita un filamento de fibra, siendo poca la diferencia económica entre la fibra óptica de uno y dos filamentos se optó por emplear esta segunda, además que nos ayudara a contar con una fibra de respaldo en la última milla para poder prever alguna ruptura en una de ellas.

### 3.3.6.2.2.1 ATENUACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA

Como se mencionó anteriormente, la Fibra óptica HUAWEI se rige con especificaciones ITU G.652 D esta es la cual será la utilizada en este proyecto y presenta las siguientes perdidas:

Parámetros ópticos	Fibra no cableada	Fibra cableada
Atenuación a 1310 nm	≤ 0,35 dB/Km	≤ 0,37 dB/Km
Atenuación a 1383 nm	≤ 0,35 dB/Km	≤ 0,37 dB/Km
Atenuación a 1550 nm	≤ 0,21 dB/Km	≤ 0,24 dB/Km
Atenuación a 1625 nm	≤ 0,23 dB/Km	
Atenuación en 1285-1625 nm	≤ 0,40 dB/Km	
Punto de discontinuidad máxima en 1310 y 1550 nm	≤ 0,05 dB	
Longitud de onda de corte	1100 - 1320 nm	≤ 1260 nm
Punto de dispersión cero	1300-1324 nm	
Pendiente de dispersión cero	≤ 0,090 ps/nm <sup>2</sup> .Km	
Dispersión cromática en 1285 -1330 nm	≤ 3,5 ps/nm.Km	
Dispersión cromática en 1550 nm	≤ 18,0 ps/nm.Km	
Dispersión cromática en 1625 nm	≤ 22,0 ps/nm.Km	
PMD fibra individual	≤ 0,15 ps/√Km	
PMDq (Q=0,01%, N=20)	≤ 0,08 ps/√Km	

**Figura 43: Parámetros técnicos de Fibra Óptica Huawei**

El valor que se tomara en cuenta es la perdida por distancia en la fibra óptica que es de 0,35 dB/km en el enlace de subida y 0.24 dB/Km en el enlace de Bajada.

### 3.3.6.2.3 CONECTORES TIPO SC

Es muy utilizado en redes de transporte para operadoras telefónicas, televisión por cable, etc., en especial para el transporte de datos en este tipo de datos. Para este conector se emplea una regla nemotécnica según la cual SC/APC significa square connector (conector cuadrado) y cuenta con un pulido de la férula en un ángulo de


3 grados, lo que permite reducir el ORL (Perdida por Retorno Óptico). Esta diferencia de forma es lo primero que a simple vista se observa respecto al conector PC. Son más fáciles de conectar, lograr mayor densidad de integración y por permitir su variedad-duplex en la que los dos canales de transmisión/recepción Tx/Rx se pueden tener en el mismo modular.



**Figura 44: Acople y conector SC/APC**

### 3.3.6.2.3.1 ATENUACIÓN DE CONECTORES SC/APC

En el diseño de esta red consta con varias conexiones de los conectores sobre todo en la parte de conectar a los equipos iniciales y finales. Los conectores que utilizaremos como ya se mencionó son los SC debido principalmente a su compatibilidad con los equipos, estos permiten la unión de extremos de dos fibras ópticas. Como sabemos al utilizar estos conectores se debe tomar en cuenta la pérdida característica y para realizar los cálculos de atenuación del enlace, es necesario tomar los valores reales pertenecientes al conector utilizado, como se observa en la siguiente tabla.

conector	pérdidas por inserción	repeatability	tipo de fibra	aplicaciones
 SC	0.20-0.45 dB	0.10 dB	SM, MM	Datacom

**Figura 45: Perdida por conector**

El valor que se tomara de este tipo de conector es el peor caso que es 0.5 dB.

### **3.3.6.2.4 EMPALMES**

Los empalmes es un elemento a considerar por que la cantidad que tendrá en la red es importante, además que cada empalme tiene su pérdida entonces van a afectar a la distancia que nuestra fibra óptica pueda tener dependiendo cuantos empalmes tengan en el trayecto. En esta red habrá dos tipos de empalmes:

- Empalmes por fusión.
- Empalmes mecánicos.

Aunque cualquier sea estos empalmes tienen una variancia en las perdidas todo depende cual sea la calidad de trabajo al hacer cada empalme varia el valor.

#### **3.3.6.2.4.1 EMPALMES POR FUSIÓN**

Consiste en la unión permanente de las fibras mediante la fusión y unión de las mismas. Anterior a la fusión las fibras se calientan previamente para eliminar ciertas impurezas, evitar la formación de burbujas El empalme se realiza cuando las fibras a unir llegan a una temperatura suficientemente alta como para fundirse este proceso puede estar en 1 minuto. Luego se protege la zona del empalme con manguito (termo contráctil) el cual se le recubre con un tubito de acero (rigidez).

Emplearemos esta clase de empalmes en la instalación del Pigtail en ODF, en la instalación del splitter 1x4, y el extremo de entrada del splitter 1x16, además de las ramificaciones de la troncal de igual forma se empleara empalmes por fusión entre fibra y fibra de las ramificaciones.

Este tipo de empalmes según normas vigentes, están en el rango de 0.1 dB, es razón por la cual utilizaremos este valor para la elaboración de cálculos posteriores.

#### **3.3.6.2.4.2 EMPALMES MECÁNICOS**

Consiste en un tubo dividido horizontalmente, la parte de abajo es una base tipo V y la de arriba una tapa plana. El espacio entre ambas se llena de un gel adaptador, se insertan las fibras cortadas (de longitud determinada) y luego se

cierran con unas grapas de presión que empujan las fibras hasta juntarlas. Se emplearan este tipo de empalmes en la red de acometida al usuario, de tal forma que esta no requiera de equipos robustos para el ingreso a domicilios.

Para cálculos en pérdidas de enlace, consideramos una máxima perdida por empalme de 0.1 dB de perdida por empalme mecánico.

#### **3.3.6.2.5 DISEÑO DE LA RED DE PLANTA EXTERNA**

Considerando que la OLT estará ubicada en el nodo existente de la empresa además del gabinete de empalmes ODF. Se realizara la construcción de una cámara subterránea en la salida a la calle de mencionado nodo. Por tanto el acceso al predio se realizará de manera subterránea, lo que implica un tendido de fibra óptica subterránea con una capacidad de 120 fibras entre la mufla de distribución de dicha cámara y el ODF de La OLT, a partir de este punto la distribución de la red se la realizara mediante el tendido aéreo.

Un parámetro muy importante a considerar al momento de realizar el diseño, es la distancia entre el OLT hasta el usuario más alejado, realizando una aproximación mediante el trazado de rutas en Google Earth y Autocad, podemos decir que la distancia máxima que se tendrá no supera los 1300 Metros (P28 a RBS en la figura 46) lo cual es muy factible y aseveramos que la distancia no es un factor de restricción en el diseño. Tomando en cuenta este factor, podemos realizar la distribución de la fibra óptica, tomando en cuenta los puntos en los cuales determinaremos la ubicación de los terminales Nap, considerando que a partir de estas se realizara el acceso a los usuarios.





**Figura 46: Diseño de Rutas de Fibra Óptica con Postación**

Los puntos amarillos simbolizan la postación que se utilizara se considera la inclusión de postación nueva y existente de la empresa eléctrica Delapaz además se define a la línea roja como la ruta troncal en la cual se realizaran derivaciones utilizando el método del sangrado de Fibra Óptica para involucrar solo a las fibras específicas para su derivación, por lo que las líneas celestes representan las rutas sub-troncales y las de color verde las ramales derivadas de las sub-troncales.

Debemos determinar los puntos de acometida hacia el abonado final, donde a partir de este se realizara el tramo de última milla, para esto implementaremos la instalación de terminales Nap, estos incluyen en su interior al menos un splitter.



**Figura 47: Diseño de rutas**

Cada terminal Nap tiene un radio de cobertura máximo de 50 Mts. por el cual se brindara el acceso a ciertos usuarios dentro del radio de cobertura. También de toma en cuenta futuras ampliaciones, es por esto que se inserta hilos de reserva que posteriormente podrán ser prolongados. En el Anexo 1 se presenta el plano catastral correspondiente al diseño.

Tomando en cuenta todos estos elementos se detalla a continuación datos del diseño.

Elementos	Cantidad	Unidades
Postes de apoyo	60	Pzas.
Terminales Nap	23	Pzas.
Manga de Distribución	1	Pza.
Cantidad de Fibra Óptica 24 Hilos	3815	Metros
Cantidad de Fibra Óptica 120 Hilos	50	Metros
Roseta (Terminal de F.O. usuario final)	384	Pzas.
Cantidad de Fibra Óptica 2 Hilos (Droop)	19200	Metros

**Tabla 11: Elementos de Red de Planta Externa**

Consideramos los elementos de acometida (cable Drop y Roseta terminal de usuario), suponiendo que una acometida en promedio podría tener una longitud de 50 metros del terminal nap a roseta, además de la cantidad de rosetas previstas responde a la cantidad de usuarios (16 puertos\*24 Terminales Nap).

### 3.3.6.2.5.1 MATERIALES DE INSTALACIÓN DE TENDIDO AÉREO DE FIBRA ÓPTICA

Para el tendido aéreo de Fibra Óptica es necesario ferretería con la cual se realiza la sujeción del cable, entre los principales elementos tenemos a el juego de materiales para una sujeción tipo poste duplo, poste terminal, poste de paso, cruceta de reserva.

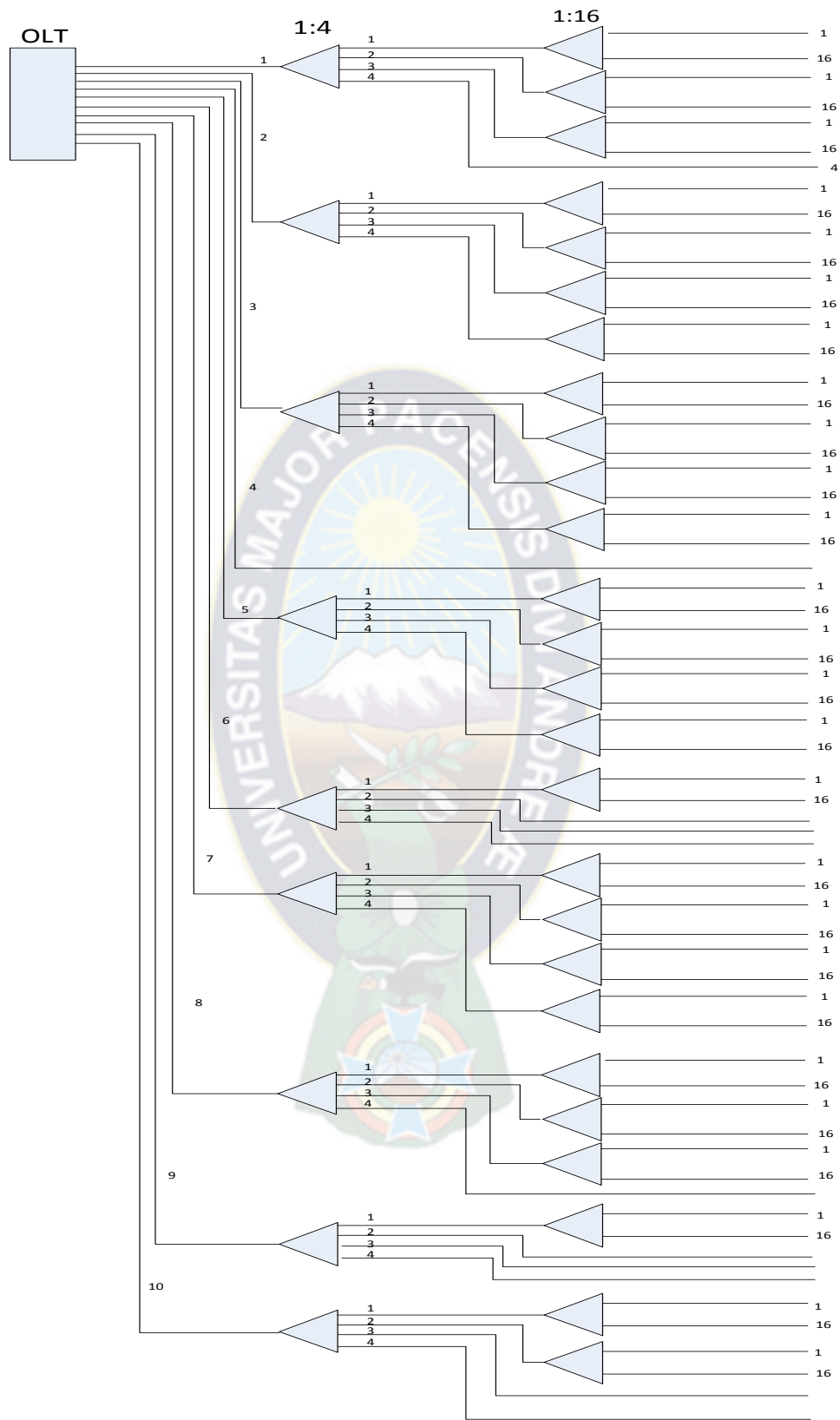
ELEMENTO DE TENDIDO AÉREO DE F.O.	CANTIDAD
Poste Duplo	36
Poste Terminal	15
Poste Paso	19
Cruceta de Reserva	25
Cruce Aéreo	5

**Tabla 12: Elementos de sujeción de F.O. Aérea**

Consideramos que las terminales Nap con las que Entel cuanta, contienen sus accesorios de instalación.

### 3.3.6.2.6 ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN MEDIANTE DIVISORES ÓPTICOS

Consideramos una red que cuenta con dos niveles de ramificación, es decir una configuración gpon en cascada, tomando referencia que cada puerto tendrá la capacidad de cubrir 64 usuarios realizamos la repartición.



**Figura 48: Esquema de Distribución de red.**

Con 10 puertos de la OLT llegaremos a cubrir toda la zona, a partir de la salida de los splitter 1x16 ubicadas en las terminales Nap, el acceso a las viviendas se realizará mediante cable de fibra óptica de dos filamentos (cable Drop) este tipo de cable de Fibra óptica cuenta con la suficiente flexibilidad para ser instalado de manera adecuada hasta la roseta, un dispositivo pasivo por el cual se conecta el ONT con la red ODN.

### 3.3.6.3 ONT (OPTICAL NETWORK TERMINAL)

Los equipos ONT se encuentran localizados en los departamentos o viviendas es el equipo terminal de la red. Para esta red de acceso se utilizará un equipo ONT con tecnología Gigabit Ethernet PON.

En la siguiente figura se presenta la ONT que se utilizará en la red



**Figura 49: Equipo ONT Gigabit Ethernet**

El HG8240 es un terminal de red óptica (ONT) para interiores de la solución este es un terminal de red óptica (ONT) para interiores de la solución FTTX Huawei. Con el uso de la tecnología GPON, se ofrece acceso de banda ultra-ancha para usuarios residenciales y pequeñas empresas. Ofrece cuatro puertos Ethernet GE/FE de adaptación automática. El HG8240 cuenta con capacidades de transmisión de alto rendimiento para garantizar una experiencia excelente con servicios de VoIP, Internet y de video de alta definición. El equipo cumple con la recomendación de la UIT G-984.2.

### Características:

- Puertos: 4 GE.
- Función plug-and-play (PnP): los servicios de Internet e IPTV pueden implementarse con un simple clic en el NMS y no se requiere configuración en sitio.
- Diagnóstico remoto: la localización remota de fallas se implementa mediante el feeder de posicionamiento preciso y cables de acometida y la identificación de los problemas de software y hardware.
- Transmisión a alta velocidad: transmisión a velocidad de línea GE.

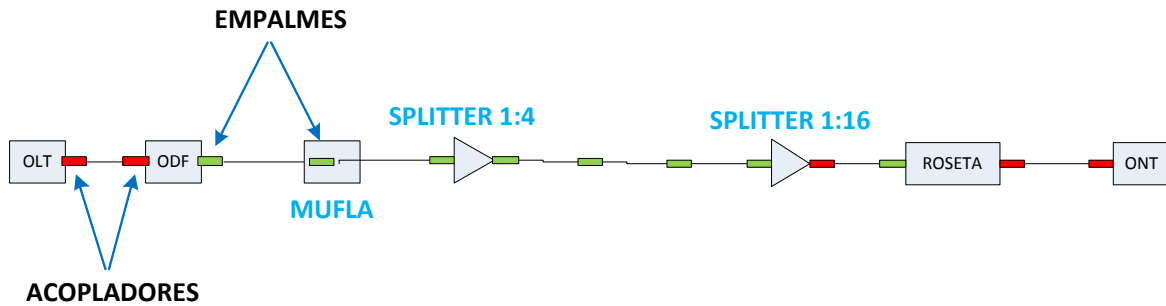
La capacidad de transmisión de alto rendimiento ofrece una solución óptima de terminales y un servicio innovador que admite el despliegue de FTTH. Las características técnicas necesarias para la elaboración de cálculos son:

<b>ONT (Óptica Network terminal)</b>	
Sensibilidad óptica mínima del Receptor (dBm)	-28
Potencia óptica mínima de Transmisión ONT (dBm)	+0.5
Potencia óptica máxima del Receptor ONT (dBm)	+5

**Tabla 13: Características de los equipos recomendación de la UIT G-984.2**

### 3.3.7 CÁLCULOS DEL DISEÑO.

Para determinar si el diseño del proyecto es factible es indispensable determinar las pérdidas de potencia que sufrirá la señal en la ODN. Para esto deben ser consideradas todas las pérdidas en la red de manera que se pueda demostrar que la señal que recibe el usuario se encuentre dentro de un rango óptimo de términos de potencia. Todos los elementos de la red se muestran a continuación, considerando el peor de los casos ya que los empalmes entre los splitters podrían simplificarse simplemente a un par de estos y más aun a uno solo.



**Figura 50: Elementos de la red Gpon**

De la figura anterior podemos determinar máxima de 8 empalmes y 5 acopladores los cuales nos servirán en cálculos posteriores.

Los valores de atenuaciones y ganancias de todos los elementos de la red, así como las formulas y otras consideraciones serán tomadas tanto de los datos de los fabricantes, como también de las recomendaciones de la ITU para el diseño de la red GPON. Además algunas más de estas fórmulas que a son empleadas a continuación también fueron recopiladas de la bibliografía que se detalla a continuación GPON. Introducción y Conceptos Generales. Adolfo García Yagüe ~ agy@telnet-ri.es Versión 1, el cual se encuentra disponible en la web.

### 3.3.7.1 LONGITUD MÁXIMA DE LA FIBRA ÓPTICA

Para determinar la longitud máxima de la fibra óptica es necesario tomar en cuenta todos los elementos desde la OLT hasta el usuario, como también considerar las pérdidas de cada elemento. Para el cálculo se utilizara la siguiente formula:

$$D = \frac{(P_{min} - S - Guarda) - (Ate_{split\ 1} + Ate_{split\ 2}) - (Ate_{emp.} * n) - (Ate_{con.} * n)}{Lo_{FO}}$$

Donde:

D: Distancia máxima.

Pmin: Potencia mínima del transmisor = 3 dBm.

S: Sensibilidad del equipo receptor = -28 dBm.

Guarda: Margen de guarda en caso de ser necesitada para otros empalmes  
futuros u otras pérdidas futuras = 3 dB.

Ate (split 1): Atenuación de splitter de primer nivel = 7 dB.

Ate (Split 2): Atenuación de splitter de primer nivel. = 14 dB.

Ate (emp.): Atenuación por empalme = 0.3 dB (8 elementos).

Ate (con.): Atenuación por acoplador = 0.5 dB (5 elementos)

Lo (fo): Pérdida de la fibra óptica = 0.35 dB/Km.

Todos estos parámetros fueron verificados en el capítulo presente. Reemplazando los datos obtendremos que:

$$D = \frac{(3 - (-28) - 3) - (7 + 14) - (0,1 * 8) - (0,5 * 5)}{0,35}$$

$$D = 10.57 \text{ Km}$$

Obteniendo una distancia máxima de la fibra óptica de 10.57 Km como se observó en la tabla nuestro usuario más lejano se encuentra a 1,3 Km. Por lo tanto se puede constatar que el usuario más lejano en la red se encuentra dentro del rango que se puede usar la longitud de la fibra óptica y no se tendrán problemas en el alcance de nuestro medio físico en toda la red.

### 3.3.7.2 PRESUPUESTO ÓPTICO

Para garantizar el enlace se tiene un presupuesto óptico aquí se consideran las pérdidas en el enlace entre la OLT y la ONT, el valor de la suma de todas las pérdidas tienen que estar dentro del rango de atenuación óptica según las recomendaciones de la ITU-T.



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)

**Figura 51: Rango de atenuación según clase de red**

Nuestra red GPON es una clase C el cual rango entre 15 y 30 dB, de los cuales 2 dB son utilizados para protocolo de corrección de errores como FEC, teniendo como máximo valor de atenuación de 28 dB en el enlace.

Con todos los valores conocidos y tomando en cuenta la distancia del usuario más lejano utilizaremos la siguiente fórmula para poder encontrar el balance de pérdidas:

$$A(\text{dB}) = D(\text{Km}) * A_f(\text{dB/Km}) + N_c * A_c(\text{dB}) + A_s(\text{dB}) + N_e * A_e(\text{dB})$$

Dónde:

A(dB) : Pérdida total en decibelios.

D(Km) : Distancia máxima en Kilómetros.

A<sub>f</sub>(dB) : Atenuación de la fibra óptica en decibelios unidad de Kilometro.

N<sub>c</sub> : Número de conectores en el tramo.

A<sub>c</sub>(dB) : Atenuación de conector en decibelios.

A<sub>s</sub>(dB) : Atenuación de splitter.

N<sub>e</sub> : Número de empalmes en el tramo.

A<sub>e</sub>(dB) : Atenuación de empalme en decibelios.

Para el mejor manejo de los cálculos se hizo un modelo para el cálculo del presupuesto óptico, como se puede observar en la siguiente tabla.

<b>PRESUPUESTO OPTICO</b>				
<b>Elementos de Red</b>		<b>Cantidad</b>	<b>Atenuación por unidad (dB)</b>	<b>Atenuación Total (dB)</b>
Conectores		5	0.5	2.5
Empalmes		6	0.1	0.6
Empalmes mecánicos		2	0.1	0.2
Splitter	1x2		3.5	0
	1x4	1	7	7
	1x8		10.5	0
	1x16	1	14	14
	1x32		17.5	0
	1x64		21	0
Fibra	1310nm	1.3	0.35	0.455
	1490nm		0.3	0
	1550nm		0.25	0
<b>PERDIDA TOTAL (dB)</b>				<b>24.655</b>

**Tabla 14: Tabla de cálculo de presupuesto óptico**

Teniendo como resultado 24.655 dB resultado que se encuentra dentro de nuestro rango de 15 a 28 dB de la recomendación de la ITU-T. Por lo tanto se verifica que nuestro enlace es viable tomando en cuenta el usuario más lejano como el peor caso en toda la red. Solo se hará el cálculo con el usuario más lejano ya que con él se demuestra cualquier otro enlace en la red.

### **3.3.7.2 CALCULO DE POTENCIAS MÍNIMAS ENLACES DE BAJADA Y SUBIDA**

De acuerdo con el resultado de la tabla anterior podemos calcular la potencia de recepción mediante:

Potencia Mínima de Recepción en ONT (bajada):

$$Pr \text{ min (dBm)} = Pt \text{ min (dBm)} - At \text{ max(dB)}$$

$$Pr \text{ min (dBm)} = 3 \text{ dBm} - 24.665 \text{ dB}$$

$$Pr \text{ min (dBm)} = -21.655 \text{ dBm}$$

Potencia Minima de recepción en OLT (subida):

$$Pr \text{ max (dBm)} = Pt \text{ max (dBm)} - At \text{ max(dB)}$$

$$Pr \text{ max (dBm)} = 0.5 \text{ dBm} - 24.655 \text{ dB}$$

$$Pr \text{ max (dBm)} = -24.155 \text{ dBm}$$

Considerando que la sensibilidad del ONT es de -28 dBm y la del OLT es de -32 dBm, según los cálculos realizados se asegura un nivel de potencia adecuado tanto en el enlace de subida como el de bajada.

#### **3.3.7.3.1 CALCULO DE ANCHO DE BANDA**

Para estimar la capacidad necesaria que debe tener el sistema para ofrecer el servicio Triple Play, es necesario explicar los servicios que brindaremos que serán:

- IPTV
- Internet
- VoIP

Estos servicios tienen diferentes necesidades, lo que se va plantear en esta parte es el cálculo de ancho de banda necesario de un usuario tomando en cuenta diferentes aspectos y así calcular el ancho de banda total en la red. Para IPTV se toman en cuenta dos valores una si el canal es SDTV que tiene un valor estándar de 1.5 Mbps en bajada y para un canal HDTV es de 8 Mbps.

Luego para el servicio de internet se tomara una velocidad de 2.048 Kbps (2 Mbps) asimétrica la cual consideramos como una velocidad media entre todas las velocidades que la empresa ENTEL S.A. maneja, se toma esta velocidad

considerando que algunos usuarios quieran menor capacidad y otros una mayor capacidad. Y por último para el servicio de VoIP que ofrece necesita un ancho de banda de 100 Kbps de velocidad de subida y bajada según normas de la UIT.

<b>Servicio</b>	<b>Ancho de Banda (BW) subida.</b>	<b>Ancho de Banda (BW) bajada.</b>
Acceso a Internet	512 Kbps	2048 Kbps
IPTV (HD)	100 Kbps	8000 Kbps
VoIP	100 Kbps	100 Kbps
Total	712 Kbps	10148 Kbps

**Tabla 15: Ancho de banda por usuario**

En la tabla se muestra el total de ancho de banda estimado por usuario en el caso de que adquiriera los tres servicios ofrecidos. Para sacar el ancho de banda de toda la red lo que se hará es multiplicar el ancho de banda por usuario por el estimado de usuarios proyectados con el porcentaje de penetración en la demanda como se observa en la siguiente tabla.

<b>DETALLE</b>	<b>Ancho de Banda (BW) subida.</b>	<b>Ancho de Banda (BW) bajada.</b>
Ancho de banda por usuario Kbps	712	10148
Cantidad de usuarios	384	384
TOTAL DE ANCHO DE BANDA Kbps	273408	3896832
TOTAL DE ANCHO DE BANDA Mbps	273,408	3896,32

**Tabla 16: Total de ancho de banda**

Teniendo un total de 3896,32 Mbps en bajada y 273,408 Mbps en subida esto es en el peor caso de que todos los usuarios usen el servicio a su máxima capacidad y al mismo tiempo.

### 3.3.7.3.2 VELOCIDAD DISPONIBLE POR USUARIO

Se tiene que en la OLT por cada puerto GPON se tiene de acuerdo a normas de la ITU-T-G.984.2 Rev 1 una velocidad de 2.5 Gbps (2500 Mbps) en bajada y 1.2 Gbps (1200 Mbps) en subida. Para este trabajo es necesario determinar el ancho de banda que se puede brindar al usuario, esto depende de la relación en la distribución de splitters que se ponga en la red. Como la distribución que se desea llegar es a 1:64 es decir llegar con splitter con un hilo hasta 64 usuarios lo que se hará es calcular el ancho de banda disponible dividiendo la capacidad total entre 64 y así estimar el ancho de banda por usuario.

Velocidad por usuario en bajada:

$$2500 \text{ Mbps} \div 64 \text{ usuario} = 39,06 \frac{\text{Mbps}}{\text{usuario}}$$

Velocidad por usuario en subida:

$$1200 \text{ Mbps} \div 64 \text{ usuario} = 18,75 \frac{\text{Mbps}}{\text{usuario}}$$

Con estos cálculos se puede observar que con una división 1:64 se puede asegurar una velocidad de 39,06 Mbps / 18,75 Mbps por usuario, lo cual satisface el ancho de banda requerido por usuario que desee los tres servicios.

### 3.3.8 SIMULACIÓN DEL DISEÑO

De los Simuladores que se encuentran disponibles en nuestro medio se eligió el optisystem disponible en [www.optiwave.com](http://www.optiwave.com).

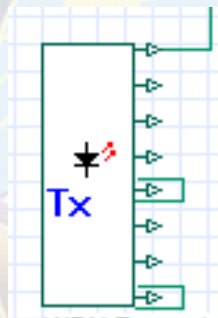
Este simulador cuenta con una interfaz fácil de utilizar, además de variedad de parámetros modificables en cada uno de los elementos que compones al simulador. Describiremos los elementos que se emplean en la simulación.

### 3.3.8.1 ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN

Dentro del simulador OptiSystem 14.0, existen diversos elementos que permiten la realización del diseño de red elaborado, entre los cuales se encuentran:

- WDM Transmitter (OLT)

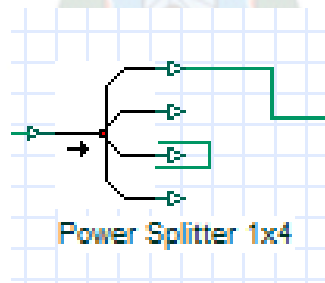
A continuación en la figura se muestra el transmisor WDM, este dispositivo funciona como la OLT, es una matriz del transmisor que permite diferentes tipos de modulación y de sistemas, mediante el uso de diversos componentes agrupados en un solo elemento, los usuarios pueden personalizar los diseños. La OLT acopla la red de acceso a la red de transporte.



**Figura 52: WDM Transmitter**

- Splitter

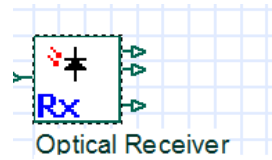
Como se muestra en la figura, el splitter divide la señal de entrada a los 64 puertos de salida, existen splitter 1:4, 1:8 hasta 1:64 el cual se utilizó en este diseño.



**Figura 53: Splitter**

- Optical Receiver (ONU).

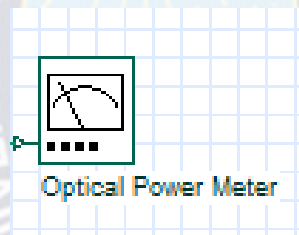
La unidad óptica de red que se muestra en a la figura, sirve de interfaz entre la red de acceso y la red interna de comunicación dentro de la casa del usuario, este dispositivo está conectado a los divisores ópticos (splitter).



**Figura 54: ONU**

- Optical Power Meter

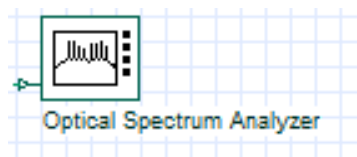
Este analizador ayudara a sacar la potencia que está recibiendo nuestro equipo terminal y así comparar con nuestra sensibilidad. Para comprobar si el enlace es factible.



**Figura 55: Optical Power Meter**

- Optical spectrum analyzer

En la figura se muestra el analizador de espectro, este instrumento permite al usuario calcular y mostrar las señales ópticas en el dominio de frecuencia. Puede mostrar la intensidad de la señal y la densidad espectral de potencia, se conecta a la OLT ó a la ONT.



**Figura 56: Optical spectrum analyzer**

### 3.3.8.2 DESARROLLO DE LA SIMULACIÓN

Para la simulación se consideró el peor de los casos de la red, es decir el usuario más alejado, la cantidad máxima de empalmes, la potencia mínima del transmisor sensibilidad mínima en el receptor.

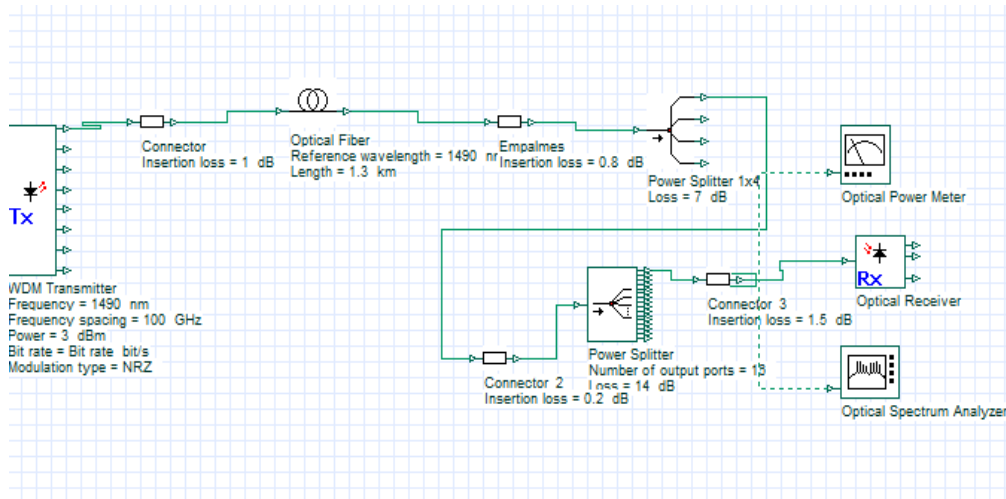


Figura 57: Elementos de simulación

Los resultados que se obtuvieron son los que siguen a continuación. Utilizando el Power Meter verificamos que la mínima potencia en la ONU es de -21.755 dBm y 24.255 dBm en el OLT.

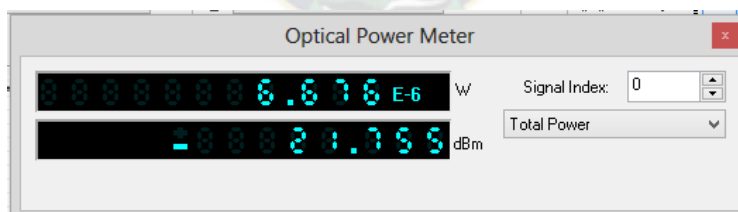


Figura 58: Resultado obtenido con Power Meter Pmin en ONT Bajada

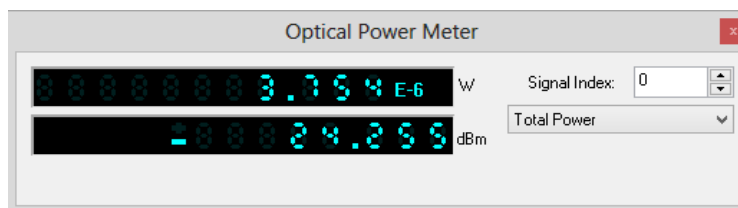
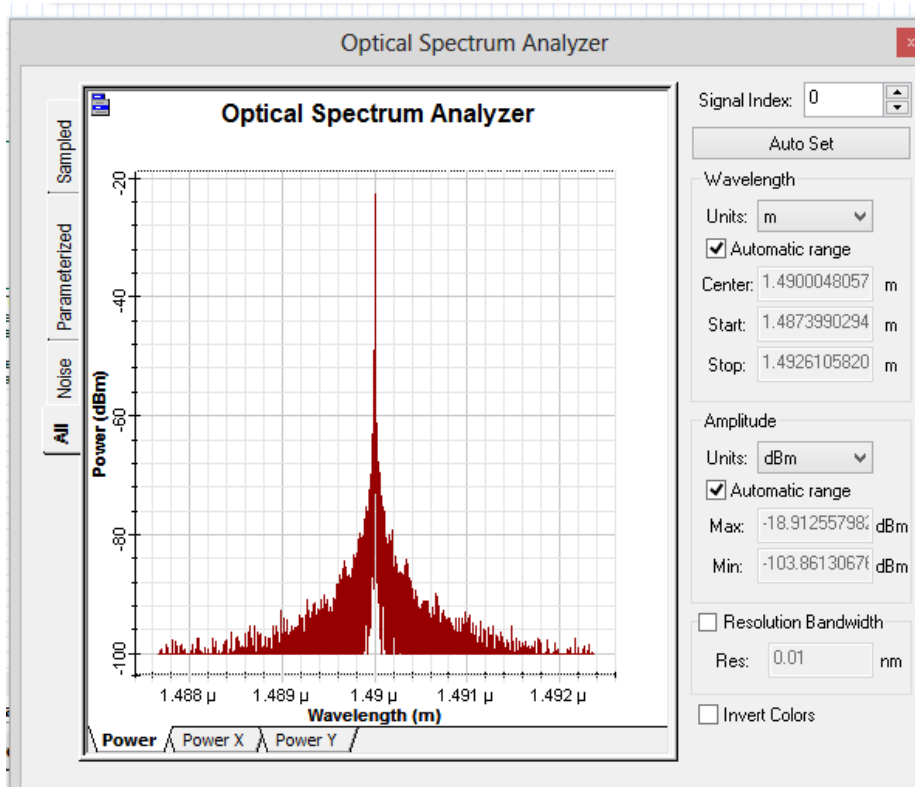


Figura 59: Resultado obtenido con Power Meter Pmin OLT Subida



Además incorporando un analizador de espectro verificamos gráficamente el nivel de potencia Vs. Longitud de onda.



**Figura 60: Resultado obtenido en Bajada con Analizador de Espectros.**

Como se puede observar la potencia que llega al equipo terminal es de -21,755 dBm, una de las características que posee la ONT es que la sensibilidad de recepción es de -28 dBm. Concluyendo que el parámetro obtenido es menor a la sensibilidad de recepción el enlace desde la OLT al usuario más lejano es factible.

$$-21,755\text{dBm} > -28\text{dBm}$$

### 3.4 COMPARACION DE DATOS TEORICOS Y DATOS OBTENIDOS EN SIMULACION

A continuación se procederá a realizar una comparación entre los resultados obtenidos en los cálculos elaborados anteriormente y los resultados de la simulación, con el fin de verificar la coherencia del diseño.

No.	ELEMENTOS DE DISEÑO	UNIDADES	DATOS DEL SIMULADOR	DATOS DE CÁLCULOS DEL ENLACE
1	Empalmes	Pzas	8	8
2	Acoples	Pzas	4	4
3	Splitter 1x4	Pzas	1	1
4	Splitter 1x16	Pzas	1	1
5	Longitud de Fibra Óptica	Metros	1.3	1.3
6	Potencia mínima óptica de transmisión	dBm	3	3
	Potencia mínima óptica de transmisión	dBm	7	7
7	Atenuación del Enlace	dB	24.5	24.255
8	Potencia Mínima óptica de Recepción ONT	dBm	-21.755	-21.655
8	Potencia Mínima óptica de transmisión OLT	dBm	-24.25	-24.155

**Tabla 17: Comparación Resultados Teóricos y de Simulación**

Es evidente la diferencia que existe en la comparación, esta se asume a la consideración de los datos de elementos como splitter transmisor y receptor como dispositivos ideales.

### 3.5 ANÁLISIS DE COSTOS

Tomando en cuenta que todos los materiales necesarios para la implementación del diseño se encuentran ya fueron adquiridos por Entel y en gran proporción analizaremos el costo de la mano de obra o el servicio de instalación de estos, además detallaremos el costo de los equipos activos y materiales de instalación.

#### 3.5.1 COSTE DE MATERIALES DE PLANTA INTERNA Y EQUIPOS

La tabla siguiente muestra una aproximación de del precio recopilado de fuentes informales de Entel y de comerciantes existentes en la red de internet.

Descripción	Cantidad (Unidad/es)	Precio Por Unidad USD	Total FOB USD	Total CIF USD	Total Almacenes USD
OLT(MA5683T Huawei)	1	2.15	2.15	2.795	3.07
ONT( HG8240 Huawei)	24	50	1200.00	1560	1716.00
Fibra Óptica 24 Hilos(metros)	3815	0.62628	2389.26	3106.03566	3416.64
Fibra Óptica 120 Hilos(metros)	50	0.98122	49.06	63.7793	70.16
Fibra Óptica 2 Hilos(metros)	19200	0.07952	1526.78	1984.8192	2183.30
Splitter 1:4	7	13.5	94.50	122.85	135.14
Splitter 1:16	24	61.85	1484.40	1929.72	2122.69
Gabinete OLT	1	1605	1605.00	2086.5	2295.15
ODF	1	781.5	781.50	1015.95	1117.55
Patch Cord de F.O. 10Mts.(SC/APC)	384	4.36	1674.24	2176.512	2394.16
Terminales Nap	24	190	4560.00	5928	6520.80
Roseta de Usuario	384	8.6	3302.40	4293.12	4722.43
Gabinete de Empalmes	1	120	35.00	45.5	171.60
<b>TOTAL USD</b>					<b>26868.69</b>

**Tabla 18: Costos equipos y materiales internos**

Cabe mencionar que elementos no considerados como pigteles, acopladores, termocontraibles, etc. Los fabricantes proporcionan en conjunto con el ODF, terminal Nap, roseta, correspondientemente.

La tabla muestra que el coste monetario destinado a los materiales de la requieren de 26868.69 Dólares Americanos de inversión.

### 3.5.2 COSTOS DE MATERIALES DE INSTALACIÓN DE FIBRA OPTICA AÉREA.

Para la correcta instalación del cable de fibra óptica es necesaria la incorporación de ferretería metálica adecuada para la sujeción del cable. A continuación detallaremos estos materiales.

N°	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	Precio unitario DDP/IVA (USD)	Precio Total (USD)
1	Provisión de Ferretería Cruce Aéreo	Pieza	5	50.45	252.25
2	Provisión de Ferretería Duplo	Pieza	36	33.44	1203.84
3	Provisión de Ferretería Paso	Pieza	15	8.57	128.55
4	Provisión de Ferretería Cruceta	Pieza	25	65.36	1634
5	Provisión de Ferretería Terminal	Pieza	15	18.4	276
<b>TOTAL</b>					<b>3494.64</b>

**Tabla 19: Costos de materiales de planta Externa**

Para la determinación de los costes de los materiales y equipos de las dos anteriores tablas, se consideró el coste de importación, es decir los impuestos de aduana, transporte, etc. Estos costos son aproximados y fueron proporcionados por una empresa del medio en la importación de materiales y equipos de telecomunicaciones.

### 3.5.3 COSTE DEL SERVICIO DE INSTALACIÓN.

La empresa nacional Entel, contrata los servicios de empresas dedicadas a la implementación de redes de fibra óptica y las instalaciones que mencionamos.

Detallaremos estos servicios necesarios.

N°	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	Precio Unitario (USD) DDP/cIVA	Precio Total (USD)
1	Relevamiento, plan de tendido	Km	3865	0.05	193.25
5	Servicio de instalacion Duplo	Pieza	36	7.15	257.4
6	Servicio de instalacion Paso	Pieza	19	5.54	105.26
7	Servicio de instalacion de Cruceta	Pieza	25	25.77	644.25
8	Servicio intalacion de Fibra Optica	Metro Lineal	3865	0.49	1893.85
9	Instalacion de Racks y ODF	Pieza	2	31.25	62.5
12	Plano As Built	Metro Lineal	3865	0.1	386.5
13	Servicio de Construccion de Camara y Materiales	Pieza	1	300	300
14	Istalacion de terminales Nap.	Pieza	24	37	888
15	Pintado de Ferreteria	Pieza	60	1	60
16	Servicio de instalación de acometidas	Por usuario	384	25.45	9772.8
<b>TOTAL (USD)</b>					<b>14563.81</b>

**Tabla 20: Servicios de Gpon**

La fuente de información es una empresa quien proporciona el servicio a las empresas de telecomunicaciones del medio. La tabla anterior no contempla activación, configuración de los equipos debido que estos son realizados por personal de Entel.

El costo de la implementación de la red gpon para la zona de Los Rosales de Achumani es estimado en un monto de 14563.81 Dólares.

### 3.5.4 COSTO TOTAL DE LA RED GPON

Tomando en cuenta el coste de materiales y servicios de la implantación de una red Gpon, podemos apreciar el monto total.

No.	DETALLE	COSTE (USD)
1	Costo de Materiales de Planta Interna	26868.69
2	Costo de Materiales de Planta externa	3494.64
3	Costo del servicio de instalaciones	14563.81
	<b>TOTAL (USD)</b>	<b>44927.14</b>

**Tabla 21: Costo Total de la red Gpon**

Se puede apreciar en la tabla anterior que el coste total de la implantación de la red Gpon en la Zona de Los Rosales de Achumani es estimada en un monto de 44927.14 Dólares Americanos o 313142.17 Bolivianos que deberán ser proporcionados por este caso Entel.

### 3.5.5 ESTIMACION DE INGRESOS

Los ingresos que recibe la empresa de ENTEL son gracias a los pagos de los abonados por el servicio que se les brinda. Para el trabajo se tomará los ingresos de los posibles abonados para el periodo de cinco años a partir de la disponibilidad de la red.

Según una encuesta que se elaboró en la zona Los Rosales, se constató que de 20 personas encuestadas 7 estarían dispuestos a acceder al servicio con los precios que actualmente Entel proporciona, razón por la cual se considera un 30% del total de los usuarios accediendo al servicio el primer año de disponibilidad de la red.

$$381 \frac{\text{Abonados}}{\text{año}} \times 0.3 = 114 \frac{\text{Abonados}}{\text{año}}$$

Entonces el número de abonados iniciales será de 114 abonados en el primer año.

En la siguiente tabla se podrá observar las ganancias anuales que podría recaudar la empresa en el peor de los casos, con el de 5% los siguientes 5 años, llegando a un total de 50% de los usuarios, también se toma en cuenta el precio fijo del servicio que será de 180 Bs más 83 Bs estos precios están basados de acuerdo a los precios de internet y tv en sus planes más económicos que tiene la misma empresa danto como total de 263 Bs por cliente. La tabla está expresada en bolivianos y Dólares Americanos.

<b>Años</b>	<b>Número Abonados</b>	<b>Porcentaje de Abonados</b>	<b>Tarifa Mensual (Bs)</b>	<b>Total Ganancia Mensual (Bs)</b>	<b>Total Anual (Bs)</b>	<b>Total Anual (USD)</b>
<b>AÑO 1</b>	114	30%	263	29982	359784	51618.93831
<b>AÑO 2</b>	133	35%	263	34979	419748	60222.09469
<b>AÑO 3</b>	152	40%	263	39976	479712	68825.25108
<b>AÑO 4</b>	171	45%	263	44973	539676	77428.40746
<b>AÑO 5</b>	190	50%	263	49970	599640	86031.56385

**Tabla 22 Ingresos Estimados**

En el primer año se tendría una recuperación de la inversión, el ingreso del año 1 menos la inversión  $51618.94 - 44927.14 = 6691.8$  USD.

Consideraremos el costo por el mantenimiento de la red y el costo de los impuestos a la utilidad del 25% anual además del alquiler de postes de la empresa eléctrica DELAPAZ, el costo de mantenimiento es estimado en 3500 Bs mes este en base a fuentes informales de Entel y la dimensión de la red, además del costo del alquiler de postes es 0.74 USD al mes por unidad según datos que maneja la empresa eléctrica. Consideramos en los primeros años la recuperación de la inversión y la restamos del ingreso en esos años.

	DIFERENCIA INGRESOS INVERSION (USD)	COSTOS MANTENIMIENTO ANUAL (USD)	ALQUILER DE POSTES ANUAL (USD)	GANANCIA (USD)	IMPUESTO A UTILIDADES NETAS (USD)	GANACIA TOTAL (USD)
AÑO 1	-3047.63769	6025.82	3713.616	0	0	0
AÑO 2	47435.021	6025.82	3713.616	45122.817	11280.7042	33842.112
AÑO 3	68825.2510	6025.82	3713.616	66513.0470	16628.2617	49884.785
AÑO 4	77428.4074	6025.82	3713.616	75116.2034	18779.0508	56337.152
AÑO 5	86031.5638	6025.82	3713.616	83719.3598	20929.8399	62789.519

**Tabla 23: Estudio de Ganancias Anuales**

Se estima por lo tanto en el primer año recuperar la inversión y a mediados del segundo año de disponibilidad del servicio comenzar a obtener utilidades como se muestra en la tabla 23.

### **3.6 DEMOSTRACION DEL TRABAJO DE APLICACION**

Para la comprensión de lo que se trata una red Gpon, se realizara el montaje de un sistema de divisores ópticos (splitter), conectados a través de acopladores, empalmes y fibra óptica, ordenados como el diseño del trabajo y que constituyen la red ODN (Optical Distribution Network) en la red Gpon.

#### **3.6.1 OBJETIVOS DE LA DEMOSTRACIÓN**

La demostración tiene como objetivo:

- Realizar el montaje de los elementos mencionados y realizar mediciones de potencia y atenuación en estos elementos.
- Mostrar los elementos que constituyen parte fundamental de la red pasiva.
- Mostrar equipos de certificación de la red pasiva.
- Realizar cálculos correspondientes a este sistema.



### 3.6.2 MATERIALES Y EQUIPOS REQUERIDOS

Para el montaje de la demostración se utilizarán los siguientes materiales y equipos e insumos.

- Un splitter Huawei de 1x4.
- Un splitter Huawei de 1x16.
- Cuatro Acopladores de Fibra Óptica SC/APC.
- Patch Cords de Fibra Óptica de 3 y 4 Metros.
- Bobina de lanzamiento de Fibra Óptica 500 Metros EXFO.
- Una Fuente de Luz FLS-600 EXFO.
- Un modulo MAX-730B-M2 EXFO. (Power Meter) VFL, OTDR.
- Alcohol isopropílico y paños para limpieza de férula de acople.
- Empalmes por fusión de Fibra Óptica.

Los materiales son los que la empresa Entel utiliza para la implementación de su red de Gpon.

### 3.6.3 DESARROLLO DE LA DEMOSTRACION

Comparando una red ODN GPON con los elementos que se muestran se realizará una demostración del trabajo de aplicación.



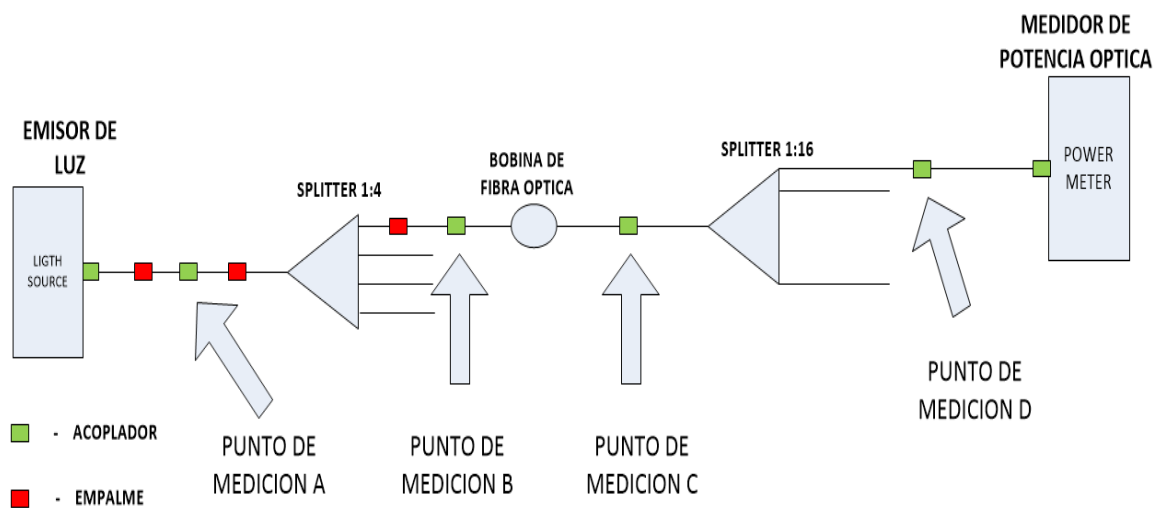
**Figura 61 Montaje de Elementos de la Demostración**

Los elementos y equipos quedan físicamente montados como muestra la figura anterior y las características de los equipos utilizados se encuentran detallados en el Anexo 2 del trabajo de aplicación.

Los datos de atenuación de elementos son considerados de las anteriores especificaciones que se realizó en el trabajo al igual que la atenuación de la fibra en las dos ventanas (Figura 46). Con una potencia óptica aproximada de medida real proporcionada por la fuente de luz se procedió a realizar las medidas indicadas en el esquema del trabajo de aplicación.

### 3.6.3 ENLACE DE BAJADA

En Gpon el enlace de bajada (OLT a ONT) es en la ventana de 1490 para datos y 1550 para video. Se realizara la aplicación en la ventana de 1550 nm.



**Figura 62: Enlace de Bajada**

Consideramos el punto A de la figura, como el punto entre la fuente y la red. Por lo cual se considera en este punto la atenuación es igual a cero y la potencia es 4,73 dBm.

La atenuación en el punto B según sus elementos es:

$$AtB(\text{dB}) = N_a \cdot A_c (\text{dB}) + N_e \cdot A_e (\text{dB}) + D(\text{Km}) \cdot 0.24 (\text{dB/Km}) + AS1(\text{dB})$$

$$= 2 \cdot 0.5 \text{ (dB)} + 2 \cdot 0.1 \text{ dB} + 0.04 \cdot 0.24 \text{ dB} + 7 \text{ dB} = 8.22 \text{ dB}$$

$$PrB(\text{dBm}) = Pt(\text{dBm}) - AtB(\text{dB}) = 4.73 \text{ dBm} - 8.22 \text{ dB} = - 3.49 \text{ dBm.}$$

La atenuación en el punto C según sus elementos es:

$$\begin{aligned} AtC(\text{dB}) &= Na \cdot Ac \text{ (dB)} + Ne \cdot Ae \text{ (dB)} + D(\text{Km}) \cdot 0.24 \text{ (dB/Km)} + AS1(\text{dB}) = \\ &= 3 \cdot 0.5 \text{ (dB)} + 2 \cdot 0.1 \text{ dB} + 0.506 \cdot 0.24 \text{ dB} + 7 \text{ dB} = 8.82 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$PrC(\text{dBm}) = Pt(\text{dBm}) - AtC(\text{dB}) = 4.73 \text{ dBm} - 8.82 \text{ dB} = - 4.09 \text{ dBm.}$$

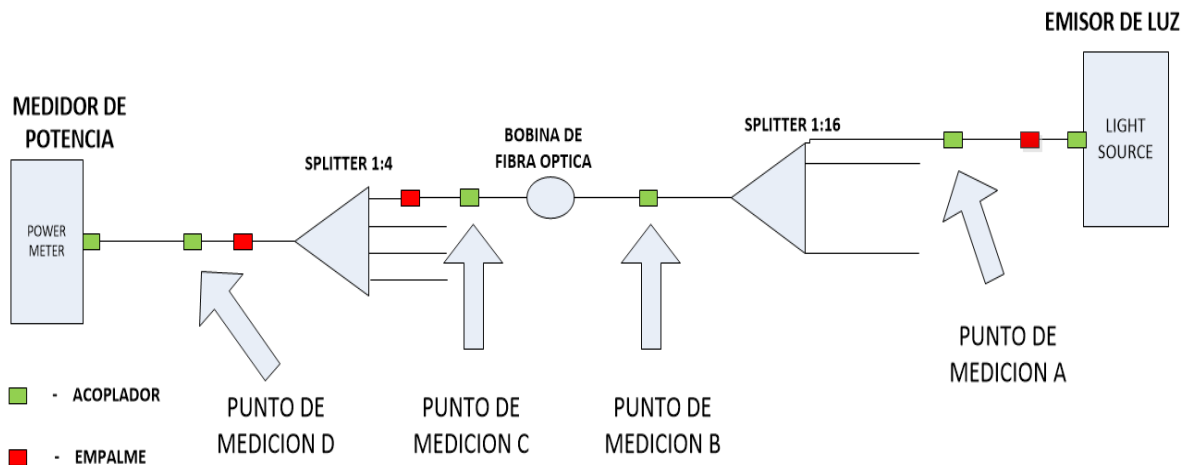
La atenuación en el punto D según sus elementos es :

$$\begin{aligned} AtD(\text{dB}) &= Na \cdot Ac \text{ (dB)} + Ne \cdot Ae \text{ (dB)} + D(\text{Km}) \cdot 0.24 \text{ (dB/Km)} + AS1(\text{dB}) = \\ &= 4 \cdot 0.5 \text{ (dB)} + 2 \cdot 0.1 \text{ dB} + 0.51 \cdot 0.24 \text{ dB} + 7 \text{ dB} + 14 = 23.32 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$PrD(\text{dBm}) = Pt(\text{dBm}) - AtB(\text{dB}) = 4.73 \text{ dBm} - 23.32 \text{ dB} = - 19.02 \text{ dBm.}$$

### 3.6.4 ENLACE DE SUBIDA

El enlace de subida (ONT a OLT) en redes Gpon se realiza en la ventana de 1310 nm.



**Figura 63 Enlace de Subida**

Consideramos el punto A al igual que en el enlace de bajada como el punto de inicio, esto para calibración de los equipos, por tanto la potencia de Tx es igual a 5 dBm y la atenuación es igual a cero.

La atenuación en el punto B según sus elementos es:

$$\begin{aligned} \text{AtB(dB)} &= N_a \cdot A_c \text{ (dB)} + N_e \cdot A_e \text{ (dB)} + D(\text{Km}) \cdot 0.35 \text{ (dB/Km)} + AS1(\text{dB}) = \\ &= 2 \cdot 0.5 \text{ (dB)} + 0 \text{ dB} + 0.04 \cdot 0.35 \text{ dB} + 14 \text{ dB} = 15.02 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\text{PrB(dBm)} = \text{Pt(dBm)} - \text{AtB(dB)} = 5.03 \text{ dBm} - 20.01 \text{ dB} = -9.99 \text{ dBm}.$$

La atenuación en el punto C según sus elementos es :

$$\begin{aligned} \text{AtC(dB)} &= N_a \cdot A_c \text{ (dB)} + N_e \cdot A_e \text{ (dB)} + D(\text{Km}) \cdot 0.35 \text{ (dB/Km)} + AS1(\text{dB}) = \\ &= 3 \cdot 0.5 \text{ (dB)} + 2 \cdot 0.1 \text{ dB} + 0.51 \cdot 0.35 \text{ dB} + 14 \text{ dB} + 7 \text{ dB} = 22.77 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\text{PrC(dBm)} = \text{Pt(dBm)} - \text{AtC(dB)} = 5.03 \text{ dBm} - 22.78 \text{ dB} = -17.75 \text{ dBm}.$$

La atenuación en el punto D según sus elementos es :

$$\begin{aligned} \text{AtD(dB)} &= N_a \cdot A_c \text{ (dB)} + N_e \cdot A_e \text{ (dB)} + D(\text{Km}) \cdot 0.24 \text{ (dB/Km)} + AS1(\text{dB}) + AS2(\text{dB}) = \\ &= 4 \cdot 0.5 \text{ (dB)} + 2 \cdot 0.1 \text{ dB} + 0.51 \cdot 0.24 \text{ dB} + 7 \text{ dB} + 14 = 23.38 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\text{PrD(dBm)} = \text{Pt(dBm)} - \text{AtD(dB)} = 5.03 \text{ dBm} - 23.38 \text{ dB} = -18.35 \text{ dBm}.$$

Los datos calculados se encuentran en la tabla 24 los datos obtenidos de manera práctica como muestra la figura 63 y 64.

LONGITUD DE ONDA	PARAMETRO DE MEDICION	RESULTADOS	PUNTO A	PUNTO B	PUNTO C	PUNTO D
Enlace de Subida (1310 nm)	Atenuación (dB)	Teórico	0	8.22	8.82	23.32
		Práctico	0	6.72	7.08	21.811
	Potencia (dBm)	Teórico	4.73	-2.98	-4.09	-19.02
		Práctico	4.73	-1.96	-2.51	-17.08
Enlace Video de Bajada (1550 nm)	Atenuación (dB)	Teórico	0	15.02	15.68	23,38
		Práctico	0	16.11	16.22	22.94
	Potencia (dBm)	Teórico	5.03	-9.99	-10.65	-18.35
		Práctico	5.03	-11.07	-11.17	-17.76

**Tabla 24: Resultados de la Aplicación del Trabajo**

Podemos concluir que existe una diferencia relativa entre los datos teóricos y práctico, esta diferencia se debe a que los elementos de la demostración varían en el parámetro de a atenuación.

Se realizaron la verificación de potencia en puertos de splitter de 1x4 y 1x16.

FUENTE SALIDA SPLITER 1X4		
FIBRA	LONGITUD DE ONDA (nm)	MEDIDA (dBm)
1	1550	4.95
2	1550	-1.87
3	1550	-1.97
4	1550	-1.97

**Tabla 25: Potencia en Splitter 1x4 y Fuente**

SALIDA SPLITER 1X16		
FIBRA	LONGITUD DE ONDA (nm)	MEDIDA (dBm)
1	1550	-16.96
2	1550	-16.95
3	1550	-16.69
4	1550	-16.09
5	1550	-16.81
6	1550	-16.47
7	1550	-16.71
8	1550	-16.61
9	1550	-16.81
10	1550	-16.48
11	1550	-16.23
12	1550	-16.82
13	1550	-16.17
14	1550	-16.25
15	1550	-16.43
16	1550	-16.65

**Tabla 25: Potencia en Splitter 1x16.**

Estos datos corresponden al punto de acceso del usuario y se realizó en las 16 salidas del splitter de 1x16 y representan el punto D en el enlace de bajada.

En comparación con datos teóricos la potencia del enlace es menor al resultado teórico, esto debido a que la atenuación real de splitter es menor al teórico.

El trabajo con fibra óptica, es muy delicado, se debe evitar mantener los elementos sin sus elementos de protección como ser tapas en acopladores, en pigtales, en puertos de los equipos ya que la inclusión de polvo en estos, representa muy perjudicial al ser una fuente de atenuación.

Se muestra ejemplos en pruebas de retrodispersion en el anexo 3, con OTDR e IOLM.

#### 4.1 CONCLUSIONES

Es evidente que hoy por hoy en nuestro medio, las redes GPON se encuentran en pleno auge, con la incorporación de esta tecnología la empresa ahora nacional Entel, contempla una visión muy ambiciosa de brindar al usuario variedad de servicios con la mejor calidad, convirtiéndola a esta empresa en la más importante del país.

Las múltiples aplicaciones que existen hoy en día, nos obligan a implementar proyectos de telecomunicaciones de mayor eficiencia, razón por la cual una solución efectiva para la zona de Los Rosales de Achumani, es la implementación del diseño propuesto en el presente trabajo aplicativo.

El nodo óptico propuesto por el diseño, no se limita solo a cubrir la zona Los Rosales, sino también mediante la habilitación puertos ópticos en el OLT y la derivación de fibra óptica en la cámara de Distribución, está diseñada para brindar cobertura a las zonas vecinas, Huallani por ejemplo, esto se encuentra sujeto a un estudio y diseño posterior.

La certificación de una red ODN Gpon corresponde a la aplicación de pruebas de retrodispersion con módulos como ser el OTDR (Refractómetro Óptico de Dominio Temporal), IOLM (Mapeador Optico Inteligente) además de la técnica OLTS que emplea una fuente óptica y Power Meter en los extremos de la red, consiguiendo a través de todos estos la generación de informes de la red.

#### 4.2 RECOMENDACIONES

Se constató que la el sitio existente Radio Base Entel en la zona de estudio Los Rosales, es compartido por las tres empresas de telefonía móvil, Entel S.A , Tigo (telecel S.A) y Viva (Nuevatel), además se constató que Entel cuenta con una radio base tipo indoor, lo que coadyuva la incorporación de los equipos OLT, y

ODF con sus respectivos gabinetes (Rack) en el interior, debido al inconveniente de no contar con permisos no se verifico el espacio necesario para la correcta inclusión de estos, es por tanto que se recomienda a Entel antes de implementar el diseño propuesto verificar lo anterior mencionado, para poder contemplar un nueva estructura indoor o la ampliación de la existente.

Es muy importante tener en cuenta el costo de utilizar apoyo en postes de la empresa eléctrica, en este caso DELAPAZ para tener el costo adicional de la red, este costo varía según Entel ya tenga apoyos en postes que se están proponiendo, se recomienda la incorporación de estos costos a la hora de la implementación de la red propuesta.





## CAPITULO V

### BIBLIOGRAFIA

---

El presente trabajo de aplicación fue elaborado mediante la recopilación de información e imágenes de los siguientes textos y paginas disponibles en la web.

Guía FTTH PON de EXFO 2013, disponible en : [www.exfo.com](http://www.exfo.com).

Sistemas de Comunicaciones Electronicas - 4ta Edicion - Wayne Tomasi.

GPON Introducción y Conceptos Generales Autor: Doctor Adolfo García Yagüe ~  
agy@telnet-ri.es. Versión 1 ~ julio 2016 © 2014 TELNET-RI

<https://www.optisystem.com>.

<http://www.Furukawa.com>, 2012

<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-200303-l/es>.

<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.655-200911-l/es>.

[http://www.kvh.co.jp/en/data/data\\_network.html](http://www.kvh.co.jp/en/data/data_network.html)

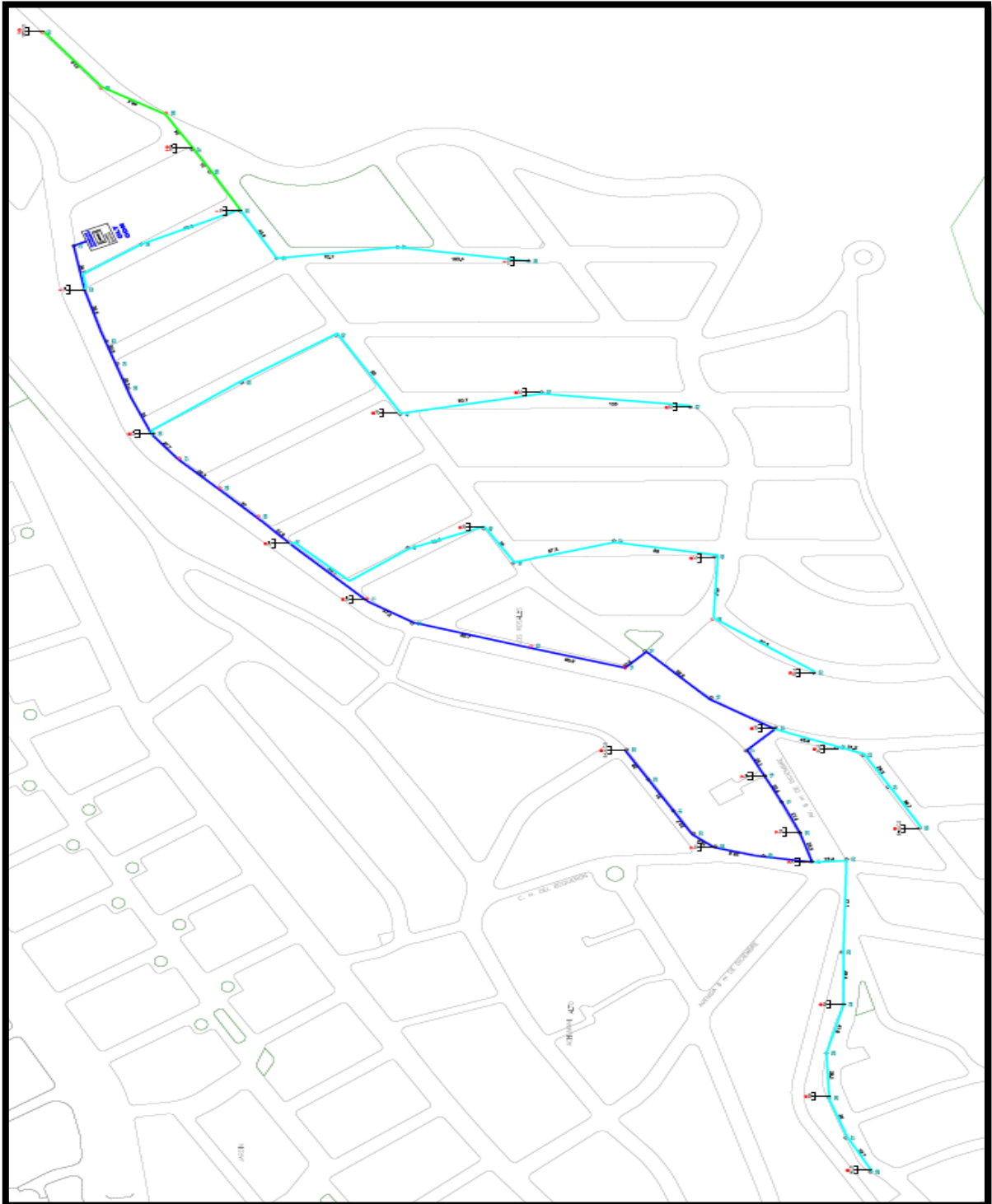
<http://www.ccapitalia.net>

<http://www.fibraopticahoy.com>

<http://www.thefoa.org>

<http://www.yio.com.ar>

ANEXO 1: PLANO CATASTRAL DEL DISEÑO DE LA RED



## ANEXO 2: CARACTERISTICAS POWER METER



# POWER METER PPM-350 C



### Gestión única del flujo de trabajo, para despliegues de redes PON más rápidos

- Mediciones simultáneas de todas las señales de redes PON\*, en cualquier lugar de la red
- Gestión innovadora del flujo de trabajo, para aumentar la eficacia en la rutina de realización de pruebas
- Diseño mejorado robusto e impermeabilizado
- Formato protegido de datos para garantizar la autenticidad de los resultados de las pruebas

\* Protegido por la patente de EE.UU. n.º 7.187.861, la patente de utilidades de Alemania n.º 20 2004 021 206.0 y sujeto a varias entradas nacionales pendientes en otros países en virtud del Tratado de Cooperación de Patentes.

**EXFO** | Telecom Test and Service Assurance

## ANEXO 3: FUENTE DE LUZ FLS-600 EXFO

Fuente de láser EXFO FLS-600-12D



### DATOS TÉCNICOS

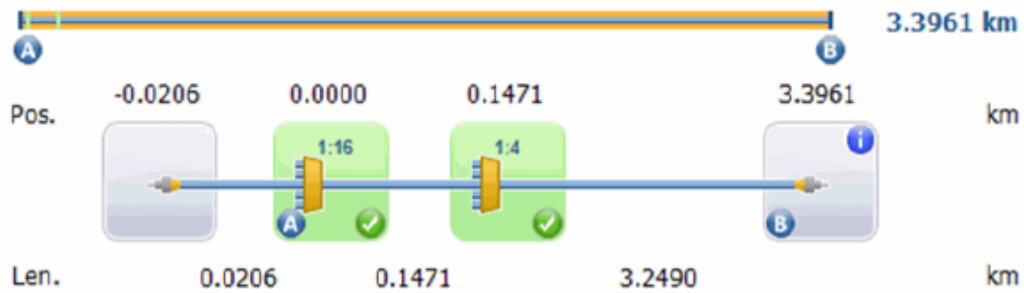
Longitud central de onda	850 ± 25 nm 1300 +50/-10 nm
Ancho de espectro	50/135 nm
Potencia de salida	≥ -20/≥ -20 dBm (62.5/125 μm)
Estabilidad de potencia de salida	15 min: ±0.05 dB 8 horas: ±0.1 dB
Identificación automática de longitud de onda	Si
Generación de tonos	270 Hz, 1 kHz, 2 kHz
Tiempo de funcionamiento de batería (típico en el modo Auto)	50 horas
Temperatura	de trabajo: de -10 °C a 50 °C, de almacenamiento: de -40 °C a 70 °C
Humedad relativa	de 0 % a 95 % sin condensación
Dimensiones	190 mm x 100 mm x 62 mm
Peso	0,48 kg

## ANEXO 4: INFORMES IOLM Y OTDR

### iOLM Report



Link View



iOLM Table

Type	Position/ Length (km)	Loss (dB)			Reflectance (dB)		Attenuation (dB/km)		
		1310 nm	1490 nm		1310 nm	1490 nm	1310 nm	1490 nm	
Connector	-0.0206	0.325	0.445		-47.9	-50.2			
Section	0.0206	---	---				---	---	
Splitter 1:16 (A)	0.0000	12.838	13.108		-79.5	-78.0			
Section	0.1471	0.084	---				0.571	---	
Splitter 1:4	0.1471	6.055	6.382		---	---			
Section	3.2490	1.202	0.812				0.370	0.250	
Connector (B)	3.3961	---	---		-39.9	-39.1			
To characterize loss and include the element in link loss and ORL, a receive fiber is required.									

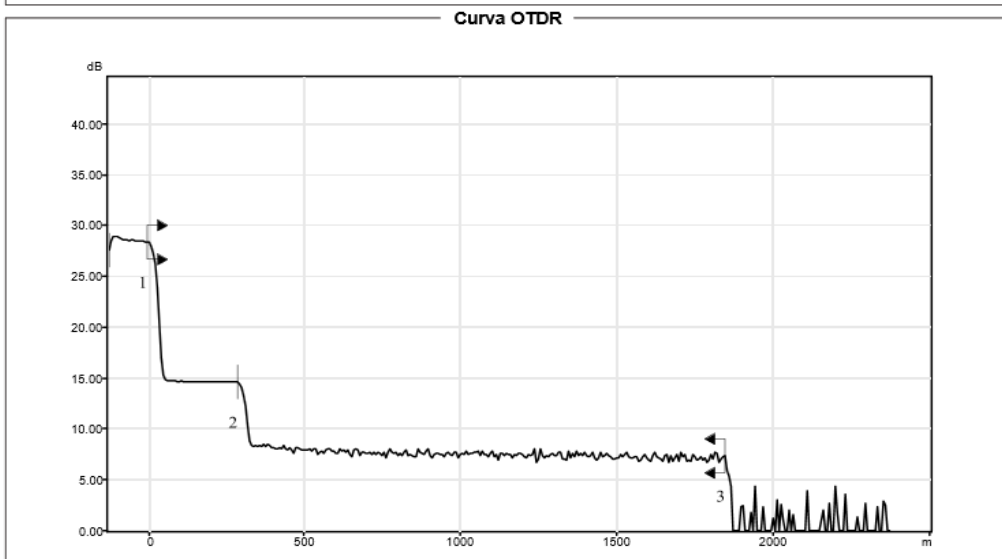


## Informe OTDR

Información del trabajo			
Trabajo :		Razón del trabajo :	
Contratista :		Operador A :	
Cliente :		Operador B :	
Fecha de la prueba :	26/11/2015 (02:43:55 p. m. GMT-4:00)	Archivo :	nap31c_OLT-SAAVEDRA_Fiber8....

Información del cable			
ID de fibra :	Fiber8	ID de cable :	
Ubicación A :	nap31c	Ubicación B :	OLT-SAAVEDRA
Fabric. del cable :		Tipo :	
ID de subgrupo :		Color :	

Mediciones del enlace			
Pérdida del segme... :	21.509 dB	Pérdida por empalme ... :	10.169 dB
Longitud de intervalo :	1.8460 km	Max. pérdida del empa... :	13.807 dB
Pérdida promedio :	11.652 dB/km	ORL del segmento :	48.03 dB



## Informe OTDR

Tabla de eventos						
Nº	Ubicación (km)	Tipo de evento	Pérdida (dB)	Refl. (dB)	Atenuación (dB/km)	Cumulative (dB)
1	-0.1277	Nivel de inyección	---	-62.5		---
	0.0000	Tramo de fibra (0.1277 km) Falla no reflexiva	0.089 13.807		0.700	---
2	0.2863	Tramo de fibra (0.2863 km)	0.168		0.587	13.975
		Falla no reflexiva	6.532			20.507
3	1.8460	Tramo de fibra (1.5597 km)	1.002		0.643	21.509
		Falla no reflexiva	---			21.509

Información de marcadores			
A	: 0.9457 km, 7.341 dB	B	: 0.9480 km, 7.075 dB
a	: 0.4458 km, 7.790 dB	b	: 0.9480 km, 7.075 dB
Distancia de A a B	: 0.0022 km, 0.266 dB	ORL de A a B	: 66.17 dB
Reflectancia 3-p.	: *****	Aten. LSA A a B	: 129.205 dB/km
Pérdida p/emp. 4-p.	: 0.525 dB		

Configuración de prueba y cable			
Longitud de onda	: 1310 nm (SM-9µm)	Tiempo adqic.	: 1 min 0 s
Nombre de archivo	: nap31c_OLT-SAAVEDRA_Fiber8.trc	Duración de pulso	: 275 ns
Hardware	: FTB-730-236B-EA	Factor helic.	: 0.00 %
Número de serie	: 830032	Umbral de pérdida del ...	: 0.020 dB
Software	: S/O	Umbral de reflectancia	: -72.0 dB
Rango	: 2.5000 km	Umbral de final de fibra	: 25.000 dB
IOR	: 1.467700		
RBS	: -79.45		