

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

FACULTAD DE TECNOLOGIA

ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES



Análisis y diseño de una red de fibra al hogar FTTH (Fiber To The Home), a la Zona Cusicancha.

Proyecto de Aplicación para la obtención del título de Licenciatura

UNIV: OSCAR ALFREDO POMA CESPEDES

LA PAZ-BOLIVIA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme puesto en el mundo para alcanzar día a día nuevos retos y que aprendo de mis errores.

A mi familia por haber estado en los momentos que más lo necesite y apoyarme incondicionalmente.

A los docentes por haberme inculcado todos los conocimientos en el transcurso de la carrera y que gracias a ellos tengo conocimientos que me ayudan a ser mejor persona en beneficio de los demás.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto en especial a mi hermana Danitza (+) pues ella fue el motor principal para que sea mejor persona y sea un mejor profesional gracias a sus enseñanzas a sus consejos, gracias hermana ahora guíame desde el cielo aunque sabes que estamos aquí extrañándote cada día, pero sé que estas bien.

A mis compañeros y amigos quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos alegrías y tristezas y a todas esas personas que durante estos años estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad.

Gracias.

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. TABLA RESUMEN CON LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS FTTX.....	4
TABLA 2. TABLA COMPARATIVA DE LOS DIFERENTES TIPOS DE REDES.....	10
TABLA 3. TABLA COMPARATIVA ENTRE ESTÁNDARES XPON FUENTE.....	16
TABLA 4. ANCHO DE BANDA REQUERIDO POR USUARIO	65
TABLA 5. VELOCIDADES UPSTREAM Y DOWNSTREAM EN GPON	66
TABLA 6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA FIBRA ÓPTICA.....	68
TABLA 7. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA TARJETA OLT Y ONU. FUENTE	69
TABLA 8. ATENUACIÓN MÁXIMA Y MÍN PERMISIBLE DEL SISTEMA FUENTE....	71
TABLA 9. EVALUACIÓN DE ATENUACIÓN DEL ENLACE ($\lambda = 1490$ NM).....	72
TABLA 10. EVALUACIÓN DE ATENUACIÓN DEL ENLACE ($\lambda = 1310$ NM).....	72

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. ARQUITECTURA GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS FTTX.	5
FIGURA 2. RESUMEN DE LOS ESTÁNDARES XPON	18
FIGURA 3. ESTRUCTURA DE LA FIBRA ÓPTICA.	24
FIGURA 4. FORMULA APERTURA NUMÉRICA.....	25
FIGURA 5. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO.	26
FIGURA 6. ATENUACIÓN EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE LA ONDA.	27
FIGURA 8. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN TRANSMISOR ÓPTICO FUENTE.	31
FIGURA 9. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN RECEPTOR ÓPTICO FUENTE.....	35
FIGURA 10. FACTORES EXTERNOS PRODUCIDOS EN LAS UNIONES DE LA FIBRA ÓPTICA.	40
FIGURA 11. ELEMENTOS BÁSICOS DE UN CONECTOR DE FIBRA ÓPTICA FUENTE.	42
FIGURA 12. DIVISOR ÓPTICO FTB 1x8.....	44
FIGURA 13. DIVISOR ÓPTICO PLC 1x8.....	45
FIGURA 14. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MÁS IMPORTANTES DE LOS DIVISORES ÓPTICOS	46
FIGURA 15: PRINCIPALES APLICACIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS DIVISORES ÓPTICOS.....	46
FIGURA 16. ADAPTADORES DE FIBRA ÓPTICA.....	49
FIGURA 17. DISTRIBUIDOR DE FIBRA ÓPTICA.....	50
FIGURA 18. CAJAS DE EMPALME DE FIBRA ÓPTICA FUENTE.....	51
FIGURA 19. CORDÓN DE CONEXIÓN.....	53
FIGURA 20. LATIGUILLO DE CONEXIÓN	53
FIGURA 21. CORDONES Y LATIGUILLOS DE CONEXIÓN DE FIBRA ÓPTICA FUENTE.....	54
FIGURA 22. COMPORTAMIENTO GENERAL DE LOS DIFERENTES REGENERADORES DE SEÑAL.	56
FIGURA 23. COMPORTAMIENTO DE UN CONVERSOR DE LONGITUD DE ONDA. FUENTE.....	57
FIGURA 24. UBICACIÓN CUARTO DE COMUNICACIONES	58
FIGURA 25. UBICACIÓN CUARTO PRINCIPAL DE COMUNICACIONES ENTEL	59
FIGURA 26. UBICACIÓN CUARTO DE COMUNICACIONES ENTEL.....	60
FIGURA 27. TOPOLOGÍA PUNTO-MULTIPUNTO.....	62
FIGURA 28. DISTRIBUCIÓN DE LOS USUARIOS.....	63
FIGURA 29.ESQUEMA ARQUITECTURA DE RED FTTH	67
FIGURA 30: COMPONENTES Y VALORES DE ATENUACIÓN DE ELEMENTOS.	70
FIGURA 31. EQUIPOS Y ELEMENTOS; DESCRIPCIÓN.	74

LISTADO DE ANEXOS.

Anexo A. DIVISOR OPTICO

Anexo B. EQUIPO OLT

Anexo C. EQUIPOS FIBRAA OPTICA

Anexo D - EQUIPOS FTTH

Anexo E - FIBRA MONOMODO PKESP MONOTUBO Anexo F - LS FTTH
SOLUTIONS

Anexo F – PLANO DEL DISEÑO FINAL DE LA RED CON ATENUACIONES

GLOSARIO

ADSL: Línea de abonado digital asimétrica (asymmetric digital subscriber line).

AES: Estándar de encriptación avanzado (advance encryption standard).

APON: Red óptica pasiva ATM (ATM passive optical network).

ATM: Modo de transmisión asíncrono (asynchronous transfer mode).

BER: Tasa de error de bit (bit error ratio).

BIP: Bit de paridad (bit interleaved parity).

BPON: Red óptica pasiva de banda ancha (broadband passive optical network).

CRC: Control de redundancia cíclica.

CWDM/DWDM: multiplexación por longitud de onda corta/densa o larga (coarse wavelength division multiplexing/dense wavelength division multiplexing).

EDFA: Amplificador de fibra dopada con erbio (erbium doped fiber amplifier). EPON: Red óptica pasiva de Ethernet (Ethernet passive optical network). FC: conector FC (ferrule connector).

FCS: Frecuencia de verificación de trama.

FDDI: Interfaz de datos de distribución de fibra (fiber distributed data interface).

FEC: Corrección de errores en retransmisión (forward error correction).

FO: Fibra óptica.

FTTH: Fibra hasta el hogar (Fiber To The Home).

FWM: Modulación de cuarta onda (fourth wave modulation)

GPON: Red óptica pasiva gigabit.

HDTV: Video alta definición sobre IPTV (high definition TV).

HEC: Corrección de error de cabecera (header error correction).

HFC: Cables híbridos de fibra y coaxial (hybrid fiber-coaxial).

IEEE: Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (The Institute of Electrical and Electronics Engineers).

IPTV: Televisión sobre IP.

ITU: Union internacional de telecomunicaciones (International Telecommunication Union).

Laser: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

LED: Diodo de emisión de luz (light-emitting diode).

MM: Multimodo.

NRZ: Sin retorno a cero (non return to zero).

NZDSF: Fibras ópticas monomodo de dispersión desplazada no nula (non zero dispersion shifted fiber).

OAF: Filtro óptico analógico (optical analogic filter).

ODF: Filtro digital óptico (optical digital filter).

ODN: Red de distribución óptica (optical distribution network).

OLED: LED orgánico (organic LED).

OLT: Terminación óptica de línea (optical line termination).

OMCI: Interfaz de control y mantenimiento ONT (ONT management and control interface).

ONT: Terminación óptica de red (optical network termination).

PEM: Método de encapsulado PON (PON encapsulation method).

PIN: Fotodiodo P-I-N.

PLC: Circuito planar de onda ligera (planar lightwave circuit).

PON: Red óptica pasiva (passive optical network).

POTS: Servicio de voz tradicional (plain old telephone services).

PPV: Servicios de pago por visión o pago por evento (pay per view).

PT: Tipo de información de usuario (payload type).

SC: Conector (standard connector).

SDTV: Video de definición estándar sobre IPTV (standard definition TV).

SIN: Interfaz de red de servicios (services network interfece).

SM: Monomodo.

SMF: Fibras ópticas monomodo estándar (standard single mode fiber).

SOA: Amplificadores ópticos de semiconductor (semiconductor optical amplifier).

ST: Conector ST (straight tip).

TDM: Multiplexación por división temporal (time division multiplexing).

TDMA: Acceso múltiple por división en el tiempo (time division multiple access).

UNI: Interfaz de red de usuario (user network interface).

VCI: Identificador de circuito virtual (virtual circuit identifier).

VoD: Video bajo demanda o video a la carta (video on demand).

VoIP: Servicio de voz IP.

VPI: Identificador de ruta virtual (virtual path identifier).

WDM: Multiplexación por división de longitud de onda (Wavelength division multiplexing)

INDICE

CAPITULO I.....	1
INTRODUCCION	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	2
CAPITULO II	3
2. SISTEMA FTTH.....	3
2.1 INTRODUCCIÓN A LAS REDES FTTH	3
2.2 ARQUITECTURA GENERAL DE UNA RED FTTH	6
2.2.1 Configuración Punto a Multipunto: PON.....	7
2.3 REDES ÓPTICAS PASIVAS PON.....	8
2.4 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS REDES PON	10
2.5 ESTÁNDARES DE REDES XPON.....	12
2.5.1 Estándar APON	13
2.5.2 Estándar BPON	14
2.5.3 Estándar GPON	14
2.5.4 Estándar EPON.....	15
2.5.5 Estándar GEPON.....	17
2.6 SERVICIOS OFRECIDOS POR LA RED FTTH.....	19
2.6.1. Servicios de voz.....	19
2.6.2. Servicios de datos.....	20
2.6.3. Servicios de video.....	21
CAPITULO III	23
3. TRANSMISIÓN EN FIBRA ÓPTICA.....	23
3.1 INTRODUCCIÓN	23
3.2. FUNDAMENTOS FÍSICOS DE TRANSMISIÓN POR FIBRA.....	24
3.3. TRANSMISIÓN DE SEÑALES A TRAVÉS DE FIBRA ÓPTICA	28
3.4. DISPOSITIVOS EMISORES Y RECEPTORES DE LA LUZ	29
3.4.1. Tipos de transmisores.....	32
3.4.2. Emisores de luz coherente: láser	33
3.4.3. Estructura y funcionamiento de un láser	34
3.4.4. Receptores ópticos.....	35
3.5 ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN EN UNA RED FTTH.....	36
3.5.1 Cables ópticos.....	37

3.5.2. Empalmes y conectores ópticos.....	38
3.5.3. Empalmes ópticos.....	39
3.5.4. Conectores ópticos.....	41
3.5.5. Acopladores ópticos	42
3.5.6. Divisores ópticos (splitters).....	43
3.5.7. Aislador óptico	47
3.5.8. Circulador óptico.....	47
3.5.9. Filtros ópticos	47
3.5.10. Adaptadores de fibra.....	48
3.5.11. Distribuidores de fibra óptica	50
3.5.12. Cajas de empalme.....	51
3.5.13. Cordones de conexión y latiguillos de fibra óptica	52
3.6 DISPOSITIVOS EMISORES Y RECEPTORES DE LA LUZ	54
3.6.1. Multiplexores.....	54
3.9.3. Conversores ópticos de longitud de onda.....	56
CAPITULO IV	58
4. ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED FTTH.....	58
4.1 INTRODUCCIÓN	58
4.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL ESCENARIO.....	59
4.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED	61
4.4 CÁLCULOS DE ATENUACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA.....	68
4.5 CÁLCULOS DE ATENUACIÓN DE ELEMENTOS DE LA RED	69
TABLA 9. EVALUACIÓN DE ATENUACIÓN DEL ENLACE ($\lambda = 1490$ NM).....	72
TABLA 10. EVALUACIÓN DE ATENUACIÓN DEL ENLACE ($\lambda = 1310$ NM).....	72
4.6 MÉTODO DE TERMINACIÓN DE CABLES EN ZONA.....	73
4.7 INTERCONEXIÓN DE EQUIPOS Y TERMINACIÓN DE RED	73
4.8 PRESUPUESTO DISPOSITIVOS Y ACCESORIOS	75
CAPITULO V	76
5. CONCLUSIONES	76
BIBLIOGRAFIA.....	78

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha experimentado un gran desarrollo en el mercado de las telecomunicaciones debido a dos grandes factores. El incremento de la competitividad entre empresas de telecomunicaciones y la aparición de nuevos servicios de banda ancha han dado como resultado la necesidad de mejores redes de telecomunicaciones con capacidad de ofrecer un mayor ancho de banda a un menor costo.

La demanda cada vez mayor de los usuarios por requerir altas tasas de transferencia ha hecho replantear las estrategias de los operadores de telecomunicaciones, comenzando así una carrera por el incremento de la velocidad sobre las líneas de par trenzado a través de la familia de tecnologías DSL. Se aplica a niveles masivos ADSL, ADSL2, ADSL2+ con velocidades de descarga de 8 Mbps hasta 24 Mbps. Sin embargo, aunque estas tecnologías aportan un aumento en el ancho de banda ofrecido a los usuarios, las limitaciones de distancia a la central que disminuyen el ancho de banda están presentes. Problema al que se le denominó “Problema de la última milla”.

Una de las soluciones a este problema fue reemplazar por fibra óptica el cobre en la última milla implementando arquitecturas FTTX. Dentro de las arquitecturas FTTX encontramos FTTH o fibra hasta el hogar (del inglés Fiber To The Home).

Entre las arquitecturas FTTH cabe resaltar una arquitectura que permite emplear elementos que no requieren de una alimentación externa como en el caso de los splitters ópticos. Además permite abarcar distancias de hasta 10 y 20km desde la central hasta el abonado; permite un mayor ancho de banda, debido al empleo de la fibra óptica; incrementa la calidad de servicio por la característica de la fibra óptica de ser inmune a las interferencias electromagnéticas. Asimismo existen varias tecnologías PON como APON, BPON, GPON, EPON y GEPON, de las cuales las que se usan actualmente son EPON y GEPON por sus características de ser compatibles con la tecnología Ethernet.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar y diseñar una red de fibra óptica al hogar FTTH (fiber to the home), para dar cobertura de servicio telefónico, internet y televisión (triple-play) y otros servicios de aplicaciones de alta velocidad a la zona cusicancha.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Estudiar las tecnologías involucradas en el despliegue de una red FTTH.

Detallar la descripción de los estándares: APON, BPON, GPON, EPON y GEPON.

Enunciar los elementos y componentes de una red de fibra al hogar y especificar las funciones de cada uno de ellos.

Definir la arquitectura de una red de fibra al hogar implementando la entrega de servicios masivos de telefonía, internet y televisión a la zona Cusicancha.

2. SISTEMA FTTH

El siguiente capítulo está constituido por una extensa recopilación sobre los sistemas de transmisión óptica FTTx, y concretamente el sistema FTTH sobre el que se basa el diseño y despliegue de la red propuesta en el proyecto. Se describe el funcionamiento general de este tipo de redes, estándares de arquitectura y estructura de funcionamiento, así como su situación actual en el mundo, los servicios que ofrece y que en un futuro próximo será capaz de ofrecer. Todo ello permitirá ofrecer una visión global de la tecnología FTTH, así como conocer en profundidad las particularidades concretas de este tipo de redes.

2.1 INTRODUCCIÓN A LAS REDES FTTX

Las redes FTTH pertenecen a la familia de sistemas de transmisión FTTx dentro del mundo de las telecomunicaciones. Estas redes, consideradas de banda ancha, tienen la capacidad de transportar gran cantidad de datos e información a velocidades binarias muy elevadas, hasta un punto próximo al usuario final.

La familia FTTx, comprende un conjunto de tecnologías basadas en el transporte de señales digitales a través de fibra óptica como medio de transmisión. Existen diferentes niveles de alcance, en función del grado de acercamiento de la fibra óptica hasta el usuario final, que surgen como consecuencia de un mayor o menor abaratamiento de estos sistemas.

Todas las redes FTTx, admiten una configuración lógica de red en árbol o estrella, en bus, y en anillo, y en todas ellas con la posibilidad siempre de utilizar componentes activos dependiendo de la localización de los usuarios o clientes finales.

Las denominaciones y características, según el grado de penetración de FTTx, se recogen en la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla resumen con las características de las tecnologías FTTx Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009

Denominación	Alcance	Distancia Métrica
FTTN	Fiber To The Node (Fibra hasta el nodo)	Fibra Óptica desde la central hasta una distancia del edificio entre 1.5 – 3 km
FTTC	Fiber To The Curb (fibra hasta la acera)	Fibra Óptica desde la central hasta una distancia del edificio entre 300 – 600 m
FTTB	Fiber To The Building Or bussiness (fibra hasta el Edificio o negocio)	Fibra Óptica desde la c hasta el Cuarto de Telecomunicaciones del edificio, sin incluir tendido hasta el hogar
FTTH	Fiber To The Home (fibra hasta el hogar)	Fibra Óptica desde la central hasta el PTR de los hogares (20 km)

Existen otras denominaciones que, de forma paralela, fueron surgiendo según fue avanzando esta tecnología, y que sin embargo, no se consideran estandarizadas. No obstante, es conveniente nombrarlas, debido a que en muchos ambientes, utilizan esta nomenclatura:

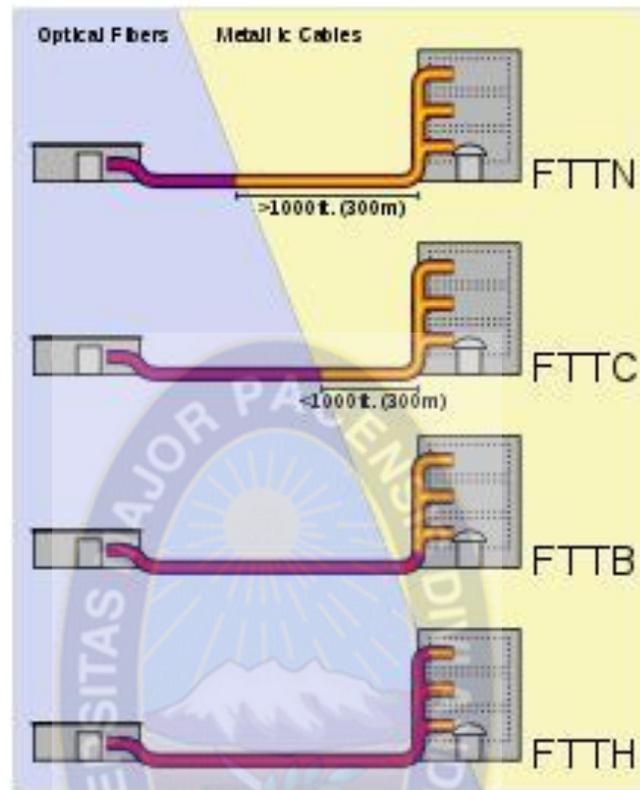
- FTTCab: Fiber To The Cabinet (fibra hasta el armario, a la intemperie)
- FTTP: Fiber To The Premises (fibra hasta las instalaciones)
- FTTO: Fiber To The Office (fibra hasta la oficina)
- FTTU: Fiber To The User (fibra hasta el usuario)

La utilización de fibra óptica como medio de transmisión hasta los hogares, y por tanto, hasta los usuarios finales, garantiza una red completamente adaptada tanto a las necesidades actuales, como futuras. La reutilización de esta infraestructura física supone un ahorro económico a lo largo del tiempo, a pesar de su fuerte desembolso inicial en la fase de despliegue, amortizándolo en muy poco tiempo.

La instalación de fibra óptica hasta edificios residenciales es prácticamente inexistente en Bolivia, dado el grado de despliegue de tecnologías alternativas más maduras, y aparentemente más económicas para los operadores, como son xDSL, PLC, HFC, etc. Sin embargo, la demanda exponencial de aumento de ancho de banda y velocidad de transmisión, es superior al que estas tecnologías son capaces de ofrecer, y en línea evolutiva, están llegando a la limitación más importante e insalvable: el medio físico no soporta tanto caudal de datos a tales velocidades. De ahí que sea necesario un cambio drástico del canal, que permita establecer un conducto de banda ancha, mucho mayor a las vistas hasta día de hoy: la fibra óptica.

Figura 1. Arquitectura general de las tecnologías FTTx.

Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/FTTX.svg>



2.2 ARQUITECTURA GENERAL DE UNA RED FTTH

La tecnología FTTH pasar por la implantación de fibra óptica en toda la red global, incluido el troncal del operador. En relación con el bucle de abonado, que es el tema a tratar, propone la inclusión de la fibra desde la central del operador de telecomunicaciones, hasta cada una de las casas de la zona, teniendo en cuenta que se tiene un transportador de la fibra como es la empresa ENTEL, por medio de la cual se utilizan sus carrier para dar solución al proyecto.

Cualquier tipo de red FTTH, sea cual sea su configuración y arquitectura final, propone una utilización del medio físico a través de la multiplexación por longitud de onda (WDM), desde la central hasta cada usuario.

La interconexión entre el abonado final y el nodo de distribución que prestará los servicios, puede realizarse a través de varias configuraciones físicas, que se detallan a continuación.

2.2.1 Configuración Punto a Multipunto: PON

La configuración punto a multipunto en cuanto a fibra óptica se refiere, es en el que se basan las redes FTTH. Comúnmente, a esta configuración se la denomina PON (Passive Optical Network) o Red Óptica Pasiva. A lo largo del proyecto, las referencias a la configuración punto a multipunto, se harán a través de la denominación PON.

La arquitectura basada en redes PON o redes ópticas pasivas, se define como un sistema global carente de elementos electrónicos activos en el bucle de abonado. Toda red PON consta de los siguientes elementos pasivos:

- ODN: red de distribución óptica (optical distribution network). Consiste en la red en sí misma que distribuye la señal desde la central hasta los hogares. Está constituida por cables de fibra óptica, los divisores pasivos o splitters y los armarios y paneles distribuidores de fibra óptica.
- OLT: terminación óptica de línea (optical line termination). Consiste en un elemento pasivo ubicado en la cabecera de la red o central, y generalmente se instala uno por cada fibra óptica.
- ONT: terminación óptica de red (optical network termination). Consiste en elementos pasivos que se ubican en las dependencias de los usuarios finales. Típicamente suelen ser un máximo de 32.

- Splitter: divisor óptico pasivo. Se considera el elemento principal de la red, ya que es el encargado de direccionar las señales desde el equipo activo de la red, hasta cada usuario en particular.

De esta forma, varios usuarios comparten el mismo canal físico, gracias a los divisores ópticos. El funcionamiento de un splitter, es muy básico. Dependiendo de la dirección del haz de luz procedente de un extremo, divide el haz entrante en múltiples haces de luz, distribuyéndolos hacia múltiples fibras, o bien, lo combina dentro de una misma fibra óptica. Gracias a esto, por ejemplo, una misma señal de video se puede transmitir a múltiples usuarios.

2.3 REDES ÓPTICAS PASIVAS PON

Las redes PON (del inglés Passive Optical Network) o redes ópticas pasivas son redes de fibra óptica que no utilizan componentes activos en el despliegue de la red; por el contrario, utilizan componentes pasivos que no necesitan de una alimentación externa como es el caso del splitter óptico pasivo, el cual es el elemento principal en una red de fibra óptica pasiva que nos permite guiar el tráfico de la red en una topología árbol-rama.

Este último nos brinda una ventaja frente a los despliegues de red basados en conectividad punto a punto.

Para la creación de las redes PON se tomó como modelo a las redes de CATV televisión por cable. Las redes PON transmiten y reciben información en los canales 'uplink' y 'downlink', respectivamente. En el canal 'downlink' la red PON opera como una red punto multipunto, donde la unidad OLT maneja la totalidad del ancho de banda que se va a repartir a los usuarios en intervalos temporales (slot times). En el canal 'uplink' la red PON opera como una red punto a punto, donde múltiples ONUs

transmiten a un único, lo que constituye la base para los servicios de internet, telefonía y televisión interactiva.

Existen varias topologías para el acceso a la red como son las topologías en anillo, árbol, árbol-rama y bus óptico lineal. Sin embargo, la topología utilizada en los esquemas FTTH es la de árbol-rama, lo que permite la compartición de infraestructura simplificando la densidad de equipamiento en la central. Esta topología consiste en bifurcaciones sucesivas de la red encadenando divisores ópticos 1xN.

OPTICAL LINE TERMINATION (OLT).

Para optimizar las transmisiones de los canales ‘uplink’ y ‘downlink’ se utilizan técnicas WDM (del inglés Wavelength Division Multiplexing) o multiplexación por longitud de onda. Esta técnica consiste en la superposición de dos longitudes de onda diferentes; una para la transmisión en canal ‘downlink’, con una longitud de onda de 1490 nm; y otra para la transmisión en canal ‘uplink’, con una longitud de onda de 1310 nm.

Se utilizan filtros ópticos miniatura que se integran en los transceivers ópticos de los equipos de usuario para la separación de estos dos canales los equipos ONU puedan enviar información en canal uplink. De manera similar la unidad OLT utiliza la técnica TDM para enviar en diferentes slots temporales información en canal ‘downlink’, la cual será recibida de manera selectiva por los equipos ONUs.

Otro aspecto importante a considerar es la dependencia de la potencia de transmisión del equipo OLT con la distancia a la que se encuentra el equipo ONU, que puede variar hasta un máximo de 20Km. Es así como un equipo ONU muy cercano al OLT necesitará una menor potencia de su ráfaga para no saturar su fotodiodo; mientras que un equipo muy lejano necesitará que su ráfaga temporal se transmita con una mayor potencia.

2.4 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS REDES PON

Para comprender por qué la arquitectura FTTH se basa una red PON, es necesario realizar una comparativa directa entre las redes punto a punto pasiva, punto a multipunto pasiva y punto a multipunto activas.

A continuación, se muestra una tabla comparativa con las ventajas e inconvenientes de cada uno de los tres tipos de configuración de red citados anteriormente, y que claramente justifican la utilización de redes PON sobre FTTH frente al resto de configuraciones:

Tabla 2. Tabla comparativa de los diferentes tipos de redes Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009

Tipo de Red	Aspectos Positivos	Aspectos Negativos
Punto a Punto	-Alta Capacidad	-Alto Coste de Despliegue.
Estrella Activa	-Alta Capacidad	-Alto Coste de Despliegue. -Alto Coste de Operación y Mantenimiento.
Punto a Multipunto (PON)	-Alta Capacidad. -Utilización de elementos pasivos (reducción de la inversión). -Bajo Coste de Operación y Mantenimiento. -Flexibilidad y Escalado -Todos los servicios en una fibra. -Estandarización ITU G.983.3.	-Requerimiento de métodos de protección contra sabotajes. -Alto impacto en averías de central OLT.

Tal y como se puede observar en la Tabla 2. las redes PON son las más adecuadas a la hora de diseñar una arquitectura física de red para los despliegues FTTH. El hecho de

no tener líneas expresamente dedicadas por usuario hasta la centralita del operador (donde se encuentra el OLT), reducen de forma considerable el coste de despliegue inicial de la red.

En cuanto a las redes activas, la inclusión de elementos activos incrementa no sólo el coste de despliegue de la propia red, sino también el de operación y mantenimiento de la misma, obligando a gestionarla y centralizarla a nivel software y hardware. Las redes PON, reducen estos costes innecesarios.

Sin embargo estas ventajas no son las únicas, y entre las más relevantes se encuentran las que se enumeran a continuación:

- El propio hecho de utilizar fibra óptica en la red, permite la reutilización de fibra existente en muchos emplazamientos, así como realizar tendidos aéreos, que reducen el coste de despliegue en torno a un 50%. En aquellas zonas no cubiertas por fibra con anterioridad, el ahorro de fibra es menos importante, aunque supone un ahorro de cara al futuro.

- La propia estructura PON, permite un ahorro en la instalación de nodos y puertos ópticos en la central (OLT), dada la posibilidad de escalar información (señales) en función de la demanda solicitada por los usuarios.

- A esto, debemos sumarle la reducción del coste de despliegue de la red en planta externa. El uso de elementos pasivos en la red, supone intrínsecamente una reducción del coste de implantación. Por un lado reducimos el coste que supone la instalación de elementos activos; y por otro, el coste del propio elemento pasivo, que es mucho menor.

- La instalación de redes PON a partir de estos elementos es mucho más económica, y evita costes de operación y mantenimiento, tales como la inexistencia de caídas o mantenimiento de alimentaciones de la red.

Por último, cabe destacar el elevado ancho de banda permitido por los sistemas basados en arquitecturas PON, que puede llegar a alcanzar los 2,5 Gbps de tasa descendente para el usuario. La necesidad de aumentar el ancho de banda y la velocidad en nuestros días no es más que otra justificación para la utilización de redes PON. Esto supone un soporte imprescindible para prestar servicios tales como video de alta definición HD Video a 10 Mbps; los servicios denominados “bajo demanda”; o los nuevos servicios promovidos por las nuevas redes NGN⁽¹⁾ o IMS⁽²⁾

2.5 ESTÁNDARES DE REDES XPON

Los estándares XPON son las distintas maneras de implementar una red PON dependiendo de las tecnologías utilizadas; es así que para abarcar los nombres de las distintas tecnologías PON se utiliza el denominador común XPON.

(1): NGN es un modelo de arquitectura de redes de referencia que debe permitir desarrollar toda la gama de servicios IP multimedia de nueva generación (comunicaciones VoIP nueva generación, videocomunicación, mensajerías integradas multimedia, integración con servicios IPTV, domótica, etc...)

(2): IMS “IP Multimedia Subsistema”, es el subsistema de control, acceso y ejecución de servicios común y estándar para todas las aplicaciones en el modelo de arquitectura de nueva generación (NGN), capa de control de una red de nueva generación. IMS permite controlar de forma centralizada y deslocalizada el diálogo con los terminales de los clientes para la prestación de cualquiera de los servicios (voz, datos, video, etc.) que estos requieran.

Los estándares XPON se dividen en: APON, BPON, GPON, EPON y GEPON. Además, existe un esquema de trabajo que se utilizó, previo a la convergencia de

servicios, en el transporte de video en ‘downstream’ para la televisión analógica al que se le denominó VPON.

2.5.1 Estándar APON

APON, ATM PON. Primer estándar de red óptica pasiva creado por la FSAN (Full Service Access Network) y especificada en la recomendación ITU-T G.983; este estándar permite la transmisión de información desde un nodo óptico a un número definido de usuarios utilizando la tecnología ATM y su protocolo de nivel 2.

La FSAN (del inglés Full Service Access Network) comenzó con la unión de siete operadores de telecomunicaciones, cuyo objetivo era unificar especificaciones para el acceso en banda ancha a los hogares, aprovechando las posibilidades de las redes PON. Actualmente la FSAN agrupa a más de 30 fabricantes de equipamiento.

Las características de esta tecnología están descritas por un canal ‘downlink’, cuyas tramas están formadas por ráfagas de celdas ATM estándar de 53 bytes a las que se le añaden un identificador de tres bytes.

La máxima tasa soportada en canal ‘uplink’ y ‘downlink’, suponiendo una única unidad ONU, es de 155 Mbps simétricos. Este ancho de banda se reparte en función del número de usuarios asignado al nodo óptico (número de ONUs).

Esta tecnología posee además de las interfaces en ATM nativo, interfaces del tipo TDM y Ethernet, mediante la emulación de ambos tipos de señales.

Aunque APON provee el conjunto más rico y exhaustivo de características OAM (Operación, Administración y Mantenimiento), la interconexión de los equipos de cabecera APON OLT con las redes de transporte se realiza a nivel SDH/ATM, lo cual implica una infraestructura de mayor costo que corresponda a esta tecnología.

2.5.2 Estándar BPON

BPON, Broadband PON. Estándar creado por la FSAN como reemplazo de la APON, y especificado en la recomendación ITU-T G.983. Este nuevo estándar aporta como principal característica la multiplexación por longitud de onda o WDM, La recomendación original define una red simétrica de un ancho de banda total de 155 Mbps, tanto en canal ‘downlink’ como ‘uplink’. Esta especificación fue posteriormente modificada (en el año 2001) para permitir configuraciones asimétricas de 622 Mbps y 155 Mbps en canal ‘downlink’ y ‘uplink’, respectivamente; y configuraciones simétricas de 622 Mbps.

2.5.3 Estándar GPON

Frente a las nuevas necesidades por un incremento del ancho de banda y el balanceo del tipo de tráfico exclusivamente hacia tráfico IP, se desarrolló una nueva especificación que se apoyaba en el estándar BPON, el cual era altamente ineficiente para el transporte de tráfico IP. A este protocolo que satisfacía las nuevas demandas se le denominó GPON (Gigabit PON), especificada en la recomendación ITU-T G.984.

GPON es un estándar muy potente pero a la vez muy complejo de implementar que utilizaba un procedimiento de encapsulación denominado GFP (General Framing Procedure) Esta nueva recomendación fue aprobada en los años 2003 y 2004 por la ITU-T en la recomendación ITU-T G.984, cuyas enmiendas G.984.1, G984.2 y G.984.3 se detallan a continuación.

G.984.1: Describe las características generales de un sistema PON capaz de transmitir en ATM: su arquitectura, velocidades binarias, alcance, retardo de transferencia de la señal, protección, velocidades independientes de protección y seguridad.

G.984.2: Describe una red flexible de acceso en fibra óptica capaz de soportar los requisitos de banda ancha de los servicios a empresas y usuarios residenciales.

G.984.3: Describe la red de distribución óptica, el plano de longitud de onda y los principios de diseño de la red de servicio integral.

Dentro de las ventajas que ofrecen GPON respecto a sus predecesores se tiene las siguientes características:

- Soporte global multiservicio, el cual incluye servicios de voz (TDM, SONET, SDH), Ethernet 10/100 Base T, ATM, Frame Relay, entre otros.
- Tasas de transferencia simétricas de 622Mbps y 1.25Gbps; y asimétricas de 2.5Gbps en downlink y 1.25 en uplink.
- Seguridad a nivel de protocolo de encriptación, debido a la naturaleza multicast del protocolo.

2.5.4 Estándar EPON

EPON (Ethernet PON) trabaja bajo el estándar IEEE 802.3ah, el cual define el estudio de EFM (Ethernet in the First Mile) o Acceso a la última milla. La principal característica de esta nueva arquitectura es que transporta tráfico nativo de red Ethernet en lugar del clásico tráfico ATM, visto en las tecnologías PON anteriores. Además, usa el estándar 8b/10b para codificación de línea y sigue las recomendaciones del estándar 802.3, Ethernet, como el acceso full-duplex al medio.

El principal atractivo que presenta esta tecnología es su evidente optimización para el tráfico IP frente a la ineficiencia de las alternativas basadas en ATM. Dentro de sus ventajas cabe resaltar: el ahorro a los operadores de los complejos y costosos elementos

ATM y SDH, simplificando las redes y abaratando los costos de implementación a los abonados; y la asignación de calidad de servicio en canal ‘uplink’ y ‘downlink’ al mismo tiempo que codifica todas las comunicaciones mediante el algoritmo DES.

Tabla 3. Tabla comparativa entre estándares xPON Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009

CARACTERÍSTICA	BPON	EPON	GPON
Estándar	ITU-T G.983.x	IEEE 802.2ah	ITU-T G.984.x
Velocidades de Transmisión (Mbps)	Down: 155, 622, 1244 Up: 155, 622 Mbps	Down: 1244 Up: 1244	Down: 1244, 2488 Up: 155, 622, 1244, 2488
Tipo de Fibra	Monomodo (ITU-T G.652)	Monomodo (ITU-T G.652)	Monomodo (ITU-T G.652)
Número de Fibras por ONT	1 ó 2	1	1 ó 2
Longitudes de onda de funcionamiento	Para 1 Fibra: Do:1480-1500 nm Up:1260-1360 nm Video: 1550 nm Para 2 Fibras: Do:1260-1360 nm Up:1260-1360 nm Video:1550-1560 nm	Do:1480-1500 nm Up:1260-1460 nm Vid:1550-560 nm	Para 1 Fibra: Do:1480-1500 nm Up:1260-1360 nm Vid:1550-1560 nm Para 2 Fibras: Do:1260-1360 nm Up:1260-1360 nm Vid:1550-1560 nm
Nº máximo splitters por OLT	32	16	128
Alcance Máximo Entre OLT-ONT	20 km	10 (prev. 20)Km	60 km
Distancia máxima	20 km	10 (prev. 20)Km	20 km

entre ONTs			
Pérdidas de inserción máxima	0 db	15/20 db	15/20/25 dB
Modo de Tráfico entre OLT y ONT	ATM	Ethernet	ATM, Ethernet, TDM
Arquitectura de transmisión	Asimétrica, Simétrica	Ethernet (simétrica)	Asimétrica, Simétrica
Ráfaga		Laser ON/OFF: 512 ns Conf. AGC y CDR: 400 ns	Guarda: 25.6 ns Preámbulo: 35.2 ns

2.5.5 Estándar GEAPON

GEAPON (Gigabit Ethernet PON) es el próximo estándar que la IEEE se encuentra desarrollando. Este estándar se basó en inicialmente en EPON, bajo el estándar 802.3 ah; y actualmente trabaja bajo el estándar 802.3 ae, Ethernet a 10 Gbit/s, que utiliza la tecnología 10GbE para multiplicar en un factor 10 el ancho de banda EPON. Además, este nuevo estándar tenderá hacia la convergencia con el estándar GPON.

A continuación se muestra un cuadro comparativo de las principales características de los estándares dominantes.

Figura 2. Resumen de los Estándares xPON Fuente. <http://www.telnet-ri.es/soluciones/acceso-gpon-y-redes-ftth/pon-passive-optical-networks/>

	IEEE EPON	ITU-T GPON	ITU-T BPON
Velocidades de línea descendentes (Mbps)	1250	1244.16 o 2488.16	155.52 or 622.08 or 1244.16
Velocidades de línea canal ascendente (Mbps)	1250	155.52 o 622.08 o 11244.16 o 2488.32	155.52 o 622.08
Codificación de línea	8b / 10b	NRZ(+aleatorización)	NRZ(aleatorización)
Direccionamiento por nodo (max)	256	128	64
Alcance tramo de fibra	10 km o 20 km	20 km	20 km
Protocolo nivel 2	Ethernet	Ethernet over ATM (GFP) y/o ATM	ATM
Soporte de tráfico TDM (voz, centralitas)	TDMoIP	TDM nativo Sobre ATM o TMDoIP	TDM over ATM
Flujos diferentes de tráfico por sistemas PON	Después de LLID/ ONUs	4096	256
Capacidad ascendente para tráfico IP	< 900 Mbps	1160 Mbps	500 Mbps
Gestión y Mantenimiento OA&M	Ethernet OAM, SNMP	PL OAM + OMCI	PL OAM + OMCI
Seguridad en Descendente	DES	AES	AES

2.6 SERVICIOS OFRECIDOS POR LA RED FTTH

Las redes FTTH, tal y como se ha especificado en apartados anteriores, surgen como solución a la problemática de la convergencia de redes, ofreciendo servicios bajo un único soporte físico. Y es por ello, que las redes FTTH, ofrece servicios generales de voz, datos y video integrados, bajo plataforma IP (IPTV). Comúnmente, este servicio integrado se denomina Triple Play.

Triple-Play se define por tanto como el empaquetamiento de servicios y contenidos audiovisuales (voz, banda ancha y televisión), bajo un mismo soporte físico (fibra óptica), y toda la información encapsulada en datagramas IP. Es la comercialización de los servicios telefónicos de voz junto al acceso de banda ancha, añadiendo además los servicios audiovisuales (canales de TV y pago por visión). Ofrece nuevas posibilidades en telefonía y un abaratamiento del acceso a Internet.

A continuación se describen los servicios generales ofrecidos por Triple Play bajo FTTH:

2.6.1. Servicios de voz

Los servicios de voz ofrecidos por las redes FTTH, varían en función del grado de contrato del cliente final, y son muy variados. Los más importantes son:

- POTS (plain old telephone services) o servicio de voz tradicional, ya sean líneas simples o dúplex.

- VoIP, ofrecido a 0,5 Mbps. Es el ejemplo más característico. Aunque se encuentra en uso, es de relativa reciente implantación. Gracias a las redes de fibra, sería

posible la utilización de centralitas con multitud de llamadas IP simultáneas, es decir, gestión de llamadas a través de paquetes IP de centralita a centralita.

- Voz alta calidad (premium) ofrecido a 0,5 Mbps.

El ancho de banda mínimo consumido por los servicios de voz empaquetados bajo Triple Play es de 1.5 Mbps, lo que supone un total de hasta tres líneas de voz diferentes de alta calidad.

2.6.2. Servicios de datos

Los servicios de datos ofrecidos por las redes FTTH son servicios de banda ancha. Así pues, se ofrece Internet a muy elevada velocidad, ofertando gran cantidad de posibilidades. Las más importantes son [6] [7]:

- Servicios de entretenimiento digital, que engloban descargas de música y video a tasas de velocidad elevadas. La descarga de vídeos o programas cada vez más voluminosos por una creciente complejidad de los sistemas operativos, se vería reducida en el tiempo convirtiéndose en casi transparente para el usuario, dadas las altas tasas de velocidad de red.

- Servicios de juegos en línea o gaming, que requieren un alto ancho de banda, dada la complejidad del software o la cantidad de usuarios conectados simultáneamente.

- Servicios P2P basados en el compartimiento de archivos multimedia.

- Acceso a información de forma rápida y eficaz. El acceso a redes de ordenadores como Internet, redes corporativas de empresa para tele-trabajo, o la propia red del proveedor de servicios, aumentarían su velocidad a niveles muy elevados.

- Servicios de mensajería instantánea e emails con gran contenido de información. Aplicaciones tales como MSN Messenger, Yahoo Messenger, AOL o Skype, ofrecen este tipo de servicios, aunque aumentando las posibilidades entre usuarios y la calidad del servicio.

- Líneas de datos privadas, incluso dentro del hogar.

El volumen total de consumo de ancho de banda de los datos es muy variado, por lo que evaluar su consumo es complicado. No obstante, el consumo medio por usuario para este tipo de servicios es del orden de 3 Mbps.

2.6.3. Servicios de video

Los servicios de video ofrecidos por las redes FTTH son casi los más atractivos desde el punto de vista doméstico, y en los que los operadores hacen más hincapié. Así pues, los servicios de video más importantes son los siguientes:

- SDTV (standard definition TV) o video de definición estándar sobre IPTV. Ofrece un servicio de difusión televisiva con más de 30 canales diferentes.

- HDTV (high definition TV) o video alta definición sobre IPTV. Para este tipo de difusión de video, se utiliza la codificación MPEG-4 a 7,5 Mbps; o bien la codificación WM9, a 10 Mbps. Ofrece un servicio con más de 10 canales diferentes.

- VoD (video on demand) o video bajo demanda o video a la carta. Este sistema permite al usuario el acceso a contenidos multimedia de forma personalizada. El usuario puede elegir en cualquier momento el programa que desea ver, sin depender de un horario fijo de programación; del mismo modo puede detener el programa y reanudarlo a voluntad.

○ PPV (pay per view) o servicios de pago por visión o pago por evento. Es una modalidad de televisión de pago, en la que el abonado paga por los eventos individuales que desea ver. Éstos pueden ser eventos deportivos, películas recién estrenadas, conciertos musicales importantes, etc.

○ Servicio de Radiodifusión FM, AM, etc.

○ VCR para grabaciones, con sintonizador propio y auto programable.

○ Posibilidad de video simultáneo de hasta 4 servicios diferentes por hogar, ya sean SDTV o HDTV, lo que suponen un total de consumo de hasta 14 Mbps.

○ Videoconferencia, que al disponer de alta capacidad en la red, permite transmitir a un mayor número de imágenes por segundo, llegando a tasas que transmiten las televisiones convencionales, y con una resolución y calidad de audio superiores. Otros servicios poco implantados en nuestro país, tales como el denominado e-learning, que se basa en la educación a distancia, o teleeducación, desde los hogares, sin necesidad de asistir o desplazarse a centros docentes; o la telemedicina, donde se puede diagnosticar a un paciente sin que éste tenga que moverse de casa, y sin necesidad de acudir a la consulta.

3. TRANSMISIÓN EN FIBRA ÓPTICA

3.1 INTRODUCCIÓN

En poco más de 10 años la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan como medio de transmisión de información. Este novedoso material vino a revolucionar los procesos de las telecomunicaciones en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad en la transmisión y disminuir casi en su totalidad los ruidos y las interferencias hasta multiplicar las formas de envío en comunicaciones y recepción por vía telefónica.

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio de alta pureza extremadamente compactos el grosor de una fibra es similar a la de un cabello humano. Fabricadas a alta temperatura con base en silicio, su proceso de elaboración es controlado por medio de computadoras, para permitir que el índice de refracción de su núcleo, que es la guía de la onda luminosa, sea uniforme y evite las desviaciones, entre sus principales características se puede mencionar que son compactas, ligeras, con bajas pérdidas de señal, amplia capacidad de transmisión y un alto grado de confiabilidad debido a que son inmunes a las interferencias electromagnéticas de radio-frecuencia. Las fibras ópticas no conducen señales eléctricas por lo tanto son ideales para incorporarse en cables. Tienen la capacidad de tolerar altas diferencias de potencial sin ningún circuito adicional de protección y no hay problemas debido a los cortos circuitos. Tienen un gran ancho de banda, que puede ser utilizado para incrementar la capacidad de transmisión con el fin de reducir el costo por canal; De esta forma es considerable el ahorro en volumen en relación con los cables de cobre. Con un cable de seis fibras se puede transportar la señal de más de cinco mil canales o líneas principales, mientras que se requiere de 10,000 pares de cable de cobre convencional para brindar servicio a ese mismo número de usuarios, con la desventaja que este último medio ocupa un gran espacio en los ductos y requiere de grandes volúmenes de material, lo que también

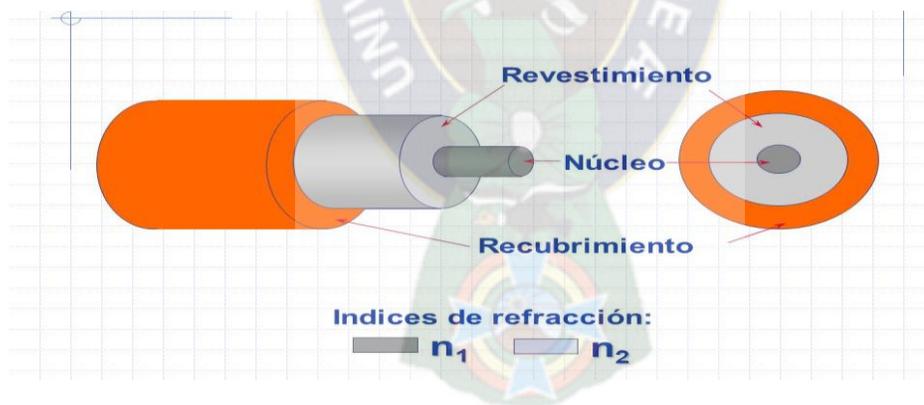
eleva los costos, en el sistema de fibra óptica se pueden instalar tramos de hasta 60 km. Sin que haya necesidad de recurrir a repetidores lo que también hace más económico y de fácil mantenimiento este material.

3.2. FUNDAMENTOS FÍSICOS DE TRANSMISIÓN POR FIBRA

Una fibra óptica consiste en un filamento transparente llamado núcleo, cuyo diámetro está entre 8 y 600 micras dependiendo del tipo de fibra óptica, y un revestimiento exterior, ambos de cuarzo o plástico, más una cubierta protectora de material plástico. La luz incidente en un extremo de la fibra se propaga por su interior, sufriendo múltiples reflexiones, y sale por el otro extremo como se indica en la Figura 3.

Figura 3. Estructura de la Fibra Óptica.

Fuente. <https://www.google.com/search?biw=1024&bih=672&tbm=isch&sa=1&q=estructura+de+la+fibra+optica&oq=estructura+de+la+fibra+optica>



A las ondas luminosas se las referencia por su longitud de onda, que está relacionada con la frecuencia mediante la expresión $\lambda = c / f$ donde λ es la longitud de onda, c la velocidad de la luz y f es la frecuencia.

Según estas leyes, al incidir un rayo luminoso sobre una superficie de separación entre dos medios de distinto índice de refracción (núcleo y revestimiento en una fibra óptica), una parte del rayo se refleja y otra se refracta. Dependiendo de las constantes de

refracción de los materiales, existe un ángulo máximo de incidencia de la luz sobre el extremo de la fibra para el cual toda la luz incidente se propaga. Este ángulo se llama ángulo de aceptación y su seno se conoce como apertura numérica (NA). Cualquier onda que entre con un ángulo mayor que el de aceptación escapará a través del revestimiento.

El concepto de apertura numérica se usa para describir la potencia colectora de luz de la fibra y para calcular la eficiencia de acoplo fuente / fibra. Está definido como:

Figura 4. Formula Apertura Numérica.

Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009

$$NA = \text{sen } \alpha_{\text{máx}} \sqrt{n_n^2 - n_r^2}$$

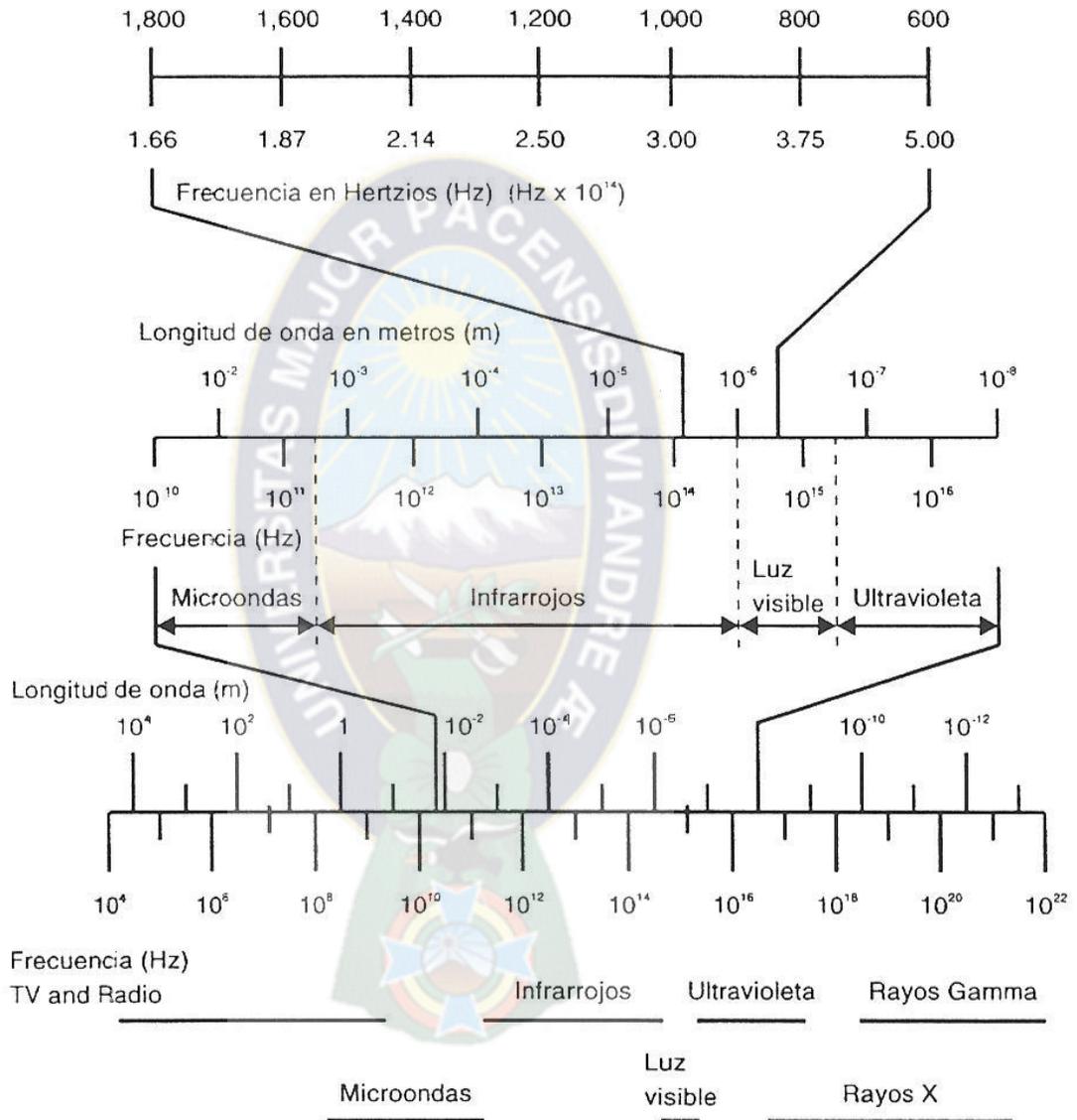
En donde $\alpha_{\text{máx}}$, representa el máximo ángulo de aceptación, n_n y n_r son los índices de refracción del núcleo y del revestimiento respectivamente.

La mayoría de mecanismos ópticos están más relacionados con la longitud de onda que con la frecuencia, Así es mucho más conveniente, y práctico utilizar la longitud de onda cuando se trabaja con luz a altas frecuencias, en elementos como antenas, líneas de transmisión y cavidades resonantes tienen sus dimensiones físicas relacionadas directamente con la λ , siendo más pronunciada esta relación en el caso de las ondas luminosas.

La figura siguiente muestra el espectro electromagnético dividido en regiones dadas en términos de λ y frecuencia.

Figura 5. Espectro Electromagnético.

Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



Hay que tener en cuenta que no todas las radiaciones utilizadas en los sistemas de transmisión de ondas luminosas se encuentran en el rango visible, solo es visible una parte muy pequeña del espectro electromagnético. Los colores individuales son determinados por la frecuencia de la onda luminosa.

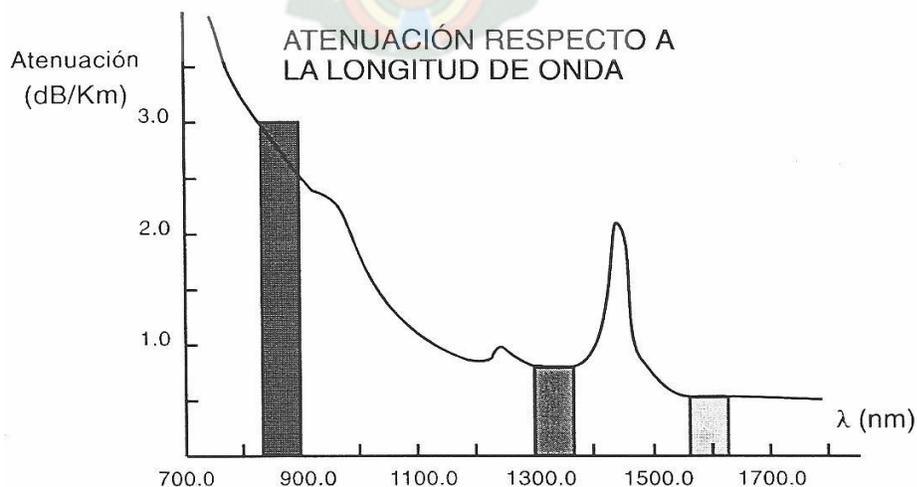
Los dispositivos empleados en aplicaciones optoelectrónicas funcionan en la banda óptica del espectro electromagnético. La banda del espectro óptico se divide en:

- Ultravioleta, con longitudes de onda entre 0,6 y 380 nm (nanómetros).
- Espectro visible, Es la banda estrecha del espectro electromagnético formada por las longitudes de onda a las que es sensible el ojo humano. Corresponde al margen de longitudes de onda entre 350 y 750 nm.
- Infrarrojo, con longitudes de onda entre 750 nm y 1 mm.

Los sistemas de comunicación óptica utilizan la parte de la banda infrarroja más cercana al espectro visible. La selección de la longitud de onda se realiza teniendo en cuenta la disponibilidad de dispositivos adecuados (emisores, receptores, etc.) y fibras ópticas con bajas pérdidas.

La atenuación sufrida por una señal luminosa (en función de la longitud de onda) en el interior de una fibra óptica corresponde a la Figura 6.

Figura 6. Atenuación en Función de la Longitud de la Onda. Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



Actualmente se trabaja en las tres bandas de frecuencia marcadas en la figura 3.4., y que se conocen con el nombre de ventanas:

- 1ª ventana: 850 nm
- 2ª ventana 1300 nm
- 3ª ventana 1550 nm

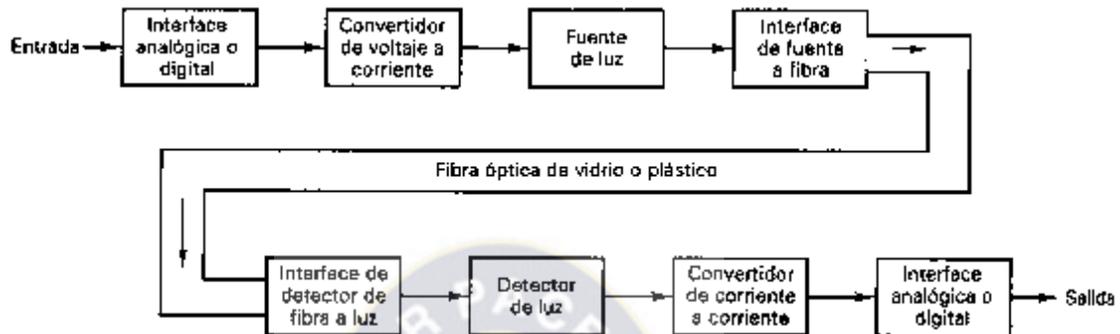
La primera ventana corresponde a la primera generación, esta fue a 850 nm. Posteriormente se utilizó una segunda ventana, a 1300 nm, donde se obtenían atenuaciones más bajas (pero con otra tecnología y más cara). Después se evoluciona hacia la tercera ventana, 1550 nm, con atenuaciones más bajas y anchos de banda mayores. Podemos comprobar que estas longitudes de onda no corresponden al espectro visible.

3.3. TRANSMISIÓN DE SEÑALES A TRAVÉS DE FIBRA ÓPTICA

En un sistema de transmisión por fibra óptica existe un transmisor que se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o en luminosa, por ello se le considera el componente activo de este proceso. Una vez que es transmitida la señal luminosa por las minúsculas fibras, en otro extremo del circuito se encuentra un tercer componente al que se le denomina detector óptico o receptor, cuya misión consiste en transformar la señal luminosa en energía electromagnética, similar a la señal original.

La Figura 7. Muestra un diagrama a bloques simplificado de un enlace de comunicaciones de fibra óptica.

Figura 7. Diagrama Comunicación de fibra óptica. Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



Los cables de fibra óptica transmiten información en forma de destellos de luz, pero a mayor velocidad y en mayor capacidad que los cables de cobre.

En resumen, se puede decir que este proceso de comunicación, la fibra óptica funciona como medio de transportación de la señal luminosa, generado por el transmisor de LED'S (diodos emisores de luz) y láser.

Los diodos emisores de luz y los diodos láser son fuentes adecuadas para la transmisión mediante fibra óptica, debido a que su salida se puede controlar rápidamente por medio de una corriente de polarización mil conferencias telefónicas a la vez. Sonido, imagen e información de fax y computadoras pasan al mismo tiempo por un solo cable. Las señales no se desvanecen, como sucede en los alambres de cobre, de modo que el sistema necesita menos amplificadores de señal.

3.4. DISPOSITIVOS EMISORES Y RECEPTORES DE LA LUZ

Los dispositivos emisores y receptores de luz, son aquellos elementos de la red óptica que forman parte de la red activa, y por tanto, que necesitan alimentación para su puesta en marcha y funcionamiento. A diferencia de todos los elementos que se han detallado

en los apartados anteriores (pasivos), estos dispositivos se encargan de la transformación de señales ópticas a eléctricas y viceversa, condición necesaria para la transmisión de luz a través de la fibra.

A continuación se detallarán los aspectos más importantes de los dispositivos receptores y emisores de luz que intervienen en una arquitectura de red en fibra óptica.

Transmisores ópticos

Se denomina transmisor óptico al sistema cuya función consiste en convertir una señal eléctrica de entrada (información) en una señal óptica correspondiente, conduciéndola hacia el canal de comunicación, en este caso, la fibra óptica.

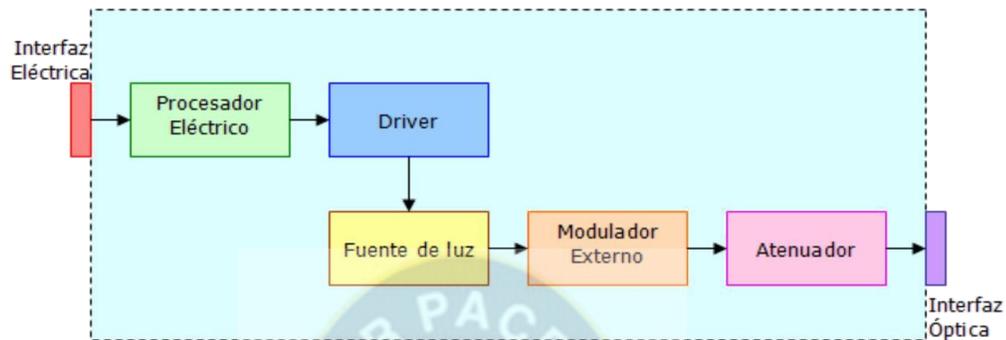
Existen dos tipos de emisores de luz para comunicaciones ópticas:

- Emisores de luz no coherente: los diodos de luz (LED).
- Emisores de luz coherente: los láseres (concretamente, semiconductores).

La eficiencia en el acoplamiento de luz generada por la fuente dentro de la fibra depende del tipo de emisor y fibra empleados. El acoplamiento puede ser muy ineficiente cuando se utilizan simultáneamente un LED y una fibra monomodo ($< 1\%$), a diferencia del acoplamiento con un láser, en donde la eficiencia es mucho mayor (entre 30-50%).

Cualquier modelo de transmisor óptico (con modulador externo), consta de una serie de componentes fijos, siendo estos: la interfaz eléctrica, la interfaz óptica, la fuente de luz, el modulador externo y el atenuador (en sistema de corta distancia). A continuación se muestra una figura con la relación entre componentes del modelo de transmisor óptico.

Figura 8. Diagrama de bloques de un transmisor óptico Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



La interfaz eléctrica está referida a los cables, conectores electrónicos estandarizados o pines que emergen del paquete. Algunos conectores se accionan directamente por la entrada de señales eléctricas. Los transmisores complejos requieren potencia para su funcionamiento y aceptan múltiples entradas eléctricas.

La interfaz óptica entre el transmisor y la fibra puede tener varias formas. Una de ellas consiste en integrar un conector de fibra en el transmisor y otra consiste en utilizar un latiguillo de conexión que se empalma o conecta a la fibra. La elección de uno u otro depende de los factores que se incluyan, entre los que destacan: coste, tiempo de uso del sistema (permanente o temporal), tipo de fibra, ambiente de operación y la importancia de las pérdidas de interconexión.

El procesador eléctrico acondiciona la señal eléctrica en una forma apropiada para la fuente de luz. En general, consiste en un circuito que convierte variaciones de tensión en variaciones de corriente, la cual modula la fuente óptica.

El driver consiste en un circuito conductor que acondiciona totalmente la señal que se suministra a la fuente y depende de los requerimientos de la aplicación, el formato de datos y la fuente de luz. Así por ejemplo, los láseres semiconductores necesitan niveles de corriente cercanos al umbral del láser; estos niveles los suministra el driver.

3.4.1. Tipos de transmisores

Tal y como ya se ha comentado anteriormente, existen dos tipos de emisores de luz: los emisores de luz coherente y los emisores de luz no coherentes, cuyas características principales se detallan a continuación.

◦ Emisores de luz no coherente: Diodos LED Los emisores de luz no coherente corresponden a los diodos de luz LED, también conocido como LED (acrónimo del inglés de Light-Emitting Diode). Es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz no coherente de espectro reducido cuando se polariza de forma directa la unión p-n del mismo y circula por él una corriente eléctrica.

El funcionamiento físico consiste en que, en los materiales semiconductores, un electrón al pasar de la banda de conducción a la de valencia, pierde energía; esta energía perdida se puede manifestar en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria.

El que esa energía perdida cuando pasa un electrón de la banda de conducción a la de valencia se manifieste como un fotón desprendido o como otra forma de energía (calor por ejemplo) va a depender principalmente del tipo de material semiconductor. Cuando un diodo semiconductor se polariza directamente, los huecos de la zona p se mueven hacia la zona n y los electrones de la zona n hacia la zona p; ambos desplazamientos de cargas constituyen la corriente que circula por el diodo.

Todo este proceso emite con frecuencia un fotón en semiconductores de banda prohibida directa o "direct bandgap" con la energía correspondiente a su banda. Esto no quiere decir que en los demás semiconductores (semiconductores de banda prohibida indirecta o "indirect bandgap") no se produzcan emisiones en forma de fotones; sin embargo, estas emisiones son mucho más probables en los semiconductores de banda

prohibida directa (como el Nitruro de Galio) que en los semiconductores de banda prohibida indirecta (como el Silicio).

La emisión espontánea, por tanto, no se produce de forma notable en todos los diodos y sólo es visible en diodos como los LEDs de luz visible, que tienen una disposición constructiva especial con el propósito de evitar que la radiación sea reabsorbida por el material circundante, y una energía de la banda prohibida coincidente con la correspondiente al espectro visible. En otros diodos, la energía se libera principalmente en forma de calor, radiación infrarroja o radiación ultravioleta.

Usualmente un LED es una fuente de luz compuesta con diferentes partes, razón por la cual el patrón de intensidad de la luz emitida puede ser bastante complejo. Para obtener una buena intensidad luminosa debe escogerse bien la corriente que atraviesa el LED; para ello, hay que tener en cuenta que el voltaje de operación va desde 1.8 V hasta 3.8 V aproximadamente (lo que está relacionado con el material de fabricación y el color de la luz que emite) y la gama de intensidades que debe circular por él varía según su aplicación. Valores típicos de corriente directa de polarización de un LED corriente están comprendidos entre los 10 y los 40 mA. En general, los LEDs suelen tener mejor eficiencia cuanto menor es la corriente que circula por ellos, con lo cual, en su operación de forma optimizada, se suele buscar un compromiso entre la intensidad luminosa que producen (mayor cuanto más grande es la intensidad que circula por ellos) y la eficiencia (mayor cuanto menor es la intensidad que circula por ellos).

3.4.2. Emisores de luz coherente: láser

Los emisores de luz coherente corresponden a los láseres. El término láser es el acrónimo del inglés amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Un láser toma la forma de un diodo de inyección p-n polarizado en directo, en el cual se ha incorporado además de la unión p-n, un par de superficies reflectantes que encierran a la unión que permiten el

confinamiento óptico de la radiación que se genera por recombinación entre las vecindades de la unión.

Una fuente de radiación láser emite un haz de rayos luminosos que se propaga en una única dirección del espacio. La alta energía asociada al haz se puede concentrar, por tanto, en una pequeña zona del espacio.

Debido a las ventajas que presenta este tipo de diodo, tales como elevada potencia de salida (del orden de 10 mW), gran ancho de banda, posibilidad de modulación directa en altas frecuencias (superior a 24 GHz), ancho espectral angosto y alta eficiencia de acoplamiento con la fibra (entre un 30-50%), el láser es la fuente de luz más destacada en sistemas de transmisión por fibra óptica, sobre todo en los de alta capacidad con grandes longitudes espaciales.

3.4.3. Estructura y funcionamiento de un láser

El funcionamiento de un láser depende de los elementos básicos y componentes que lo constituyen. Un láser genérico consta de los siguientes elementos funcionales:

- El sistema de bombeo. Este sistema es el encargado de suministrar la energía al material que va a producir la emisión estimulada, siendo los más comunes el bombeo óptico y el bombeo por descarga eléctrica.
- El medio activo. Este medio es aquel en el que se producirá la emisión estimulada de radiación.
- La cavidad óptica. Esta cavidad es el recinto donde se amplificará la radiación de emisión.

Existen cuatro procesos básicos (sistemas de bombeo) que se producen en la generación del láser dentro del medio activo, y son los denominados bombeo, emisión espontánea de radiación, emisión estimulada de radiación y absorción.

3.4.4. Receptores ópticos

Los receptores ópticos transforman las señales ópticas en señales eléctricas, en concreto, es el fotodetector el encargado de esta transformación, recobrando la información enviada por el transmisor a través del canal de fibra óptica.

En el siguiente esquema se muestra un diagrama de bloques genérico de un receptor óptico para un sistema digital con detección directa, donde el componente clave es el detector de luz.

Figura 9. Diagrama de bloques de un receptor óptico Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



El receptor óptico, por tanto, consta de los siguientes elementos:

- Un filtro óptico, encargado de eliminar el ruido y de seleccionar el canal adecuado de recepción.
- Un fotodetector, elemento encargado de generar una corriente eléctrica proporcional a partir de una potencia óptica procedente del filtro.

- Un amplificador, generalmente de tipo front-end, que amplifica la señal eléctrica para poder ser procesada correctamente.
- Un decisor, que decide de forma binaria cuando se está recibiendo un 1 o un 0 en función de la información transmitida por el canal.

Algunos receptores son precedidos de un preamplificador óptico al final de la fibra para mejorar el rendimiento del procesador. Existen receptores analógicos y receptores digitales, donde la diferencia radica en el tipo de señal a convertir al final del mismo.

Los fotodetectores más útiles son los basados en semiconductores, denominados fotodiodos. Estos fotodiodos se basan en el proceso de absorción estimulada de fotones, y son muy utilizados dado que con ellos es más sencillo llegar a tener fotodetecciones, puesto que poseen una sensibilidad muy elevada y una rápida respuesta. Introducen poco ruido en el circuito y poseen un bajo coste y una alta fiabilidad. Los más comunes son dos:

- fotodiodos PIN, en los que la absorción de fotones se produce mayoritariamente en el interior de la región de deplexión.
- fotodiodos de avalancha, basados en la ionización por impacto.

3.5 ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN EN UNA RED FTTH

Un sistema de comunicaciones ópticas está constituido por varios elementos esenciales necesarios para la transmisión de información. En general, se puede destacar que un sistema de fibra óptica está constituido por un transmisor, cuya misión es convertir la señal eléctrica en señal óptica susceptible de ser enviada a través de una fibra óptica. En el extremo opuesto de la fibra óptica se encuentra el receptor, cuya misión es la de convertir la señal óptica recibida en señal eléctrica nuevamente.

El transmisor puede emplear como emisor un diodo LED o un diodo de inyección láser ILD, donde la cantidad de luz emitida es proporcional a la corriente de excitación, por lo tanto el convertor voltaje a corriente convierte el voltaje de la señal de entrada en una corriente que se utiliza para dirigir la fuente de luz. A este elemento se le denomina convertidor electro-óptico (E/O).

En el otro extremo, el receptor consiste en un diodo PIN o un APD (fotodiodo de avalancha) acoplado a la fibra óptica, que convierten la energía de luz en corriente. En consecuencia, se requiere un convertor corriente a voltaje que transforme los cambios en la corriente del detector a cambios de voltaje en la señal de salida que se acopla a la fibra óptica. Este elemento recibe el nombre de convertidor opto-eléctrico (O/E).

Las señales digitales representadas a través de código binario se corresponden a los estados de encendido y apagado del emisor. No obstante, también es posible transmitir señales analógicas, aunque no es algo habitual dado que de esta forma no se optimiza la calidad de transmisión.

Otros tipos de modulación, tales como modulación en frecuencia y demás sistemas coherentes están en fase de desarrollo, debido a la dificultad de obtener señales luminosas espectralmente puras y que simultáneamente puedan ser moduladas en frecuencia.

3.5.1 Cables ópticos

Las fibras ópticas no suelen encontrarse como elementos independientes, sino que suelen reorganizarse en estructuras constituidas por varias fibras ópticas, bajo una misma topología física y denominadas cables ópticos.

El cable es la estructura que protege a las fibras ópticas de la degradación medioambiental, de daños mecánicos, facilita la manipulación de las fibras y las aísla de las tensiones mecánicas que puedan ocurrir durante el proceso de instalación.

Existe una multitud de tipos de cables ya que estos se diseñan en función del entorno en el que van a ser empleados, desde cables para oficinas, cables para equipos de testeo, cables submarinos, etc. El diseño de un cable se basa además del entorno en tres características de la fibra óptica:

- La sensibilidad a la curvatura. Al curvarse la fibra óptica se produce una atenuación adicional, pues ciertos modos de transmisión se escapan del núcleo. Como regla práctica el radio de curvatura de la fibra óptica mínimo debe ser 10 veces el diámetro de la protección secundaria de la fibra.
- La resistencia mecánica. Este tipo de resistencia de la fibra óptica es menor que las tensiones a las que puede verse sometido en su instalación, por lo que los cables deben incorporar elementos adicionales que les proporcionen la suficiente resistencia.
- La fatiga estática y el envejecimiento. Los cables deben incluir elementos hidrófugos que protejan a la fibra óptica de la humedad que puede provocar el aumento del tamaño de las fisuras producidas por la tracción a la que se somete.

3.5.2. Empalmes y conectores ópticos

En cualquier instalación de red óptica, se han de tener en cuenta las terminaciones de las fibras, dado que para poder dar el servicio adecuado, es necesario que se conecten a ciertos elementos de terminación que se encargan de finalizar la red.

Además, en muchas ocasiones no es viable realizar un diseño completo de una red sin tener que realizar divisiones o segregaciones en los cables de fibra óptica, uniones, empalmes, etc. dado que una de las tipologías más utilizadas en este campo es la red en estrella o árbol jerárquico, que tiene como consecuencia lo anterior.

Estos empalmes y conectores son muy influyentes en el funcionamiento del sistema, dado que son elementos anejos a la fibra que se incorporan a la misma, introduciendo generalmente ciertas pérdidas en la señal transportada. Es por tanto imprescindible reflejar las características y clasificación más importantes de ambos casos.

3.5.3. Empalmes ópticos

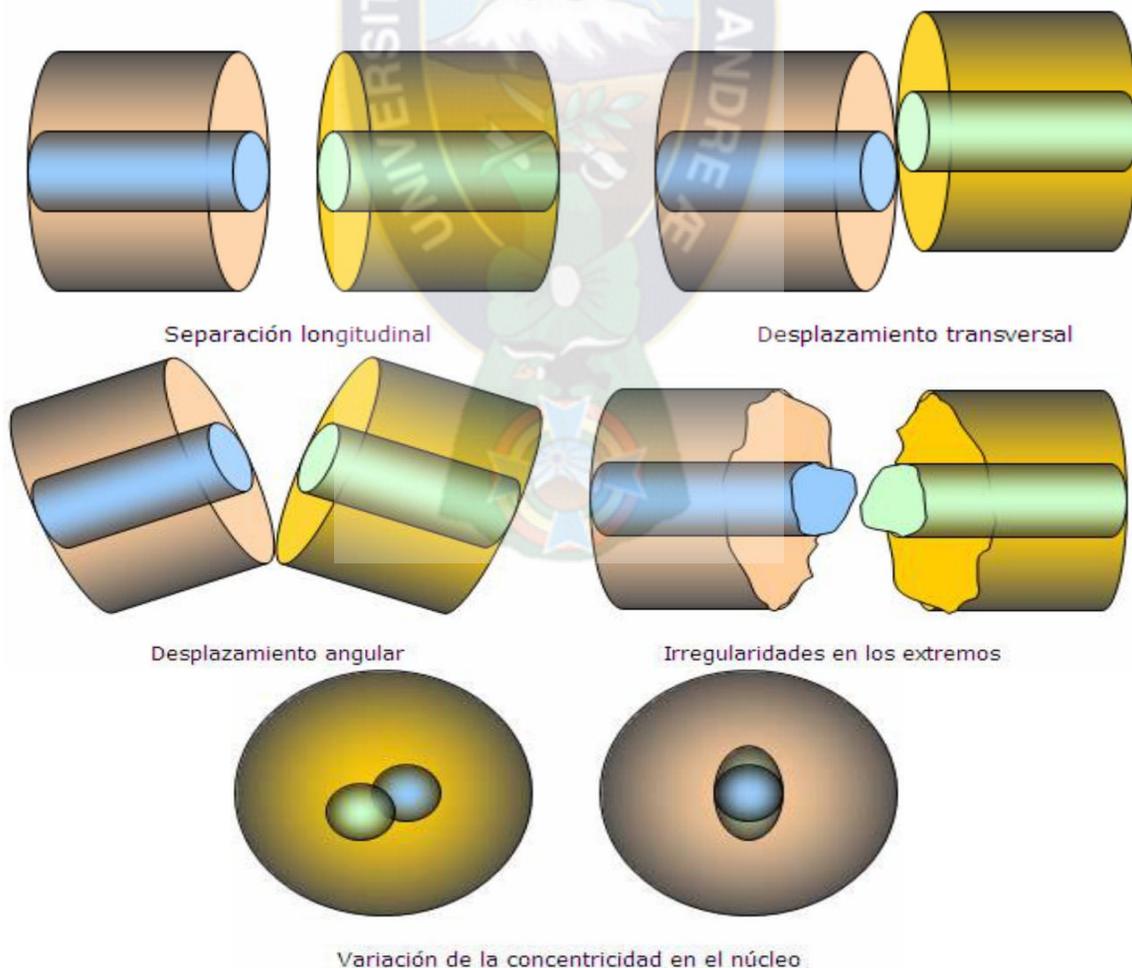
Un empalme óptico consiste en la técnica que se utiliza para unir permanentemente dos fibras ópticas entre sí mediante una conexión de bajas pérdidas. Para poder caracterizar al empalme con pérdidas muy bajas, es necesario que el núcleo de ambas fibras a unir esté correctamente alineado con las zonas activas del emisor y el receptor de luz. Las pérdidas que se originan pueden ser principalmente de dos tipos: las causadas por factores externos, y que se relacionan con el método utilizado para la unión; y las debidas a factores intrínsecos y que se encuentran relacionados con las propiedades de la fibra.

Los factores intrínsecos a las fibras que ocasionan pérdidas, son irrecuperables dado que son inherentes a la composición física y estructura de la fibra óptica, y no pueden ser eliminados durante el proceso de conexión de fibras. Los factores externos que pueden ocasionar las pérdidas más importantes en un empalme óptico son los siguientes:

- Irregularidades en los extremos de las fibras, causados durante el proceso de corte, extracción y fabricación de la fibra.

- Núcleos desalineados de las fibras a unir, por desplazamiento de una de las fibras respecto a la otra, o por variación de la concentricidad.
- Cambio en el índice de refracción de las fibras, provocando esto la reflexión de señales por desplazamiento de los índices.
- Desplazamiento transversal de los extremos de la fibra, lo que supone una disminución de la sección útil del núcleo, y por tanto, una diferencia en el canal físico de transmisión de luz.

Figura 10. Factores externos producidos en las uniones de la fibra óptica. Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



3.5.4. Conectores ópticos

El conector óptico es un dispositivo que une dos fibras ópticas, de manera repetible con bajas pérdidas ópticas de conexión. Generalmente las pérdidas que se originan en las conexiones se deben a los desplazamientos laterales de los ejes de las fibras.

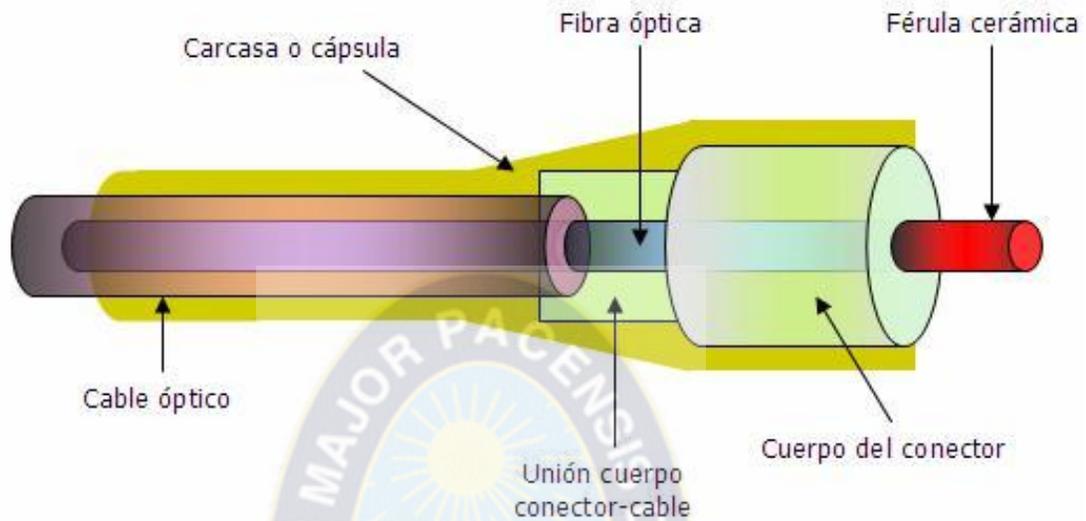
Los conectores se utilizan generalmente para la terminación de fibras ópticas, ya sea para conectorización a otras fibras o a paneles de distribución de señal, para poder realizar un enfrentamiento entre dos conectores de fibra óptica, bien tipo fibra a fibra, o fibra a panel, es necesario la utilización de un elemento denominado adaptador que permite un correcto posicionamiento enfrentado de dos fibras, ya sean idénticas y diferentes.

Cualquier conector está constituido básicamente por un casquillo o férula, un cuerpo, una cápsula o corona y un manguito descargador de tensión, que se detallan a continuación:

- El casquillo, férula o ferrule es la porción central del conector que contiene a la fibra óptica y puede estar fabricado a partir de cerámica, acero o plástico. En la mayoría de los conectores existentes, el casquillo cerámico ofrece las menores pérdidas por inserción y la mejor receptividad.
- La cápsula y el cuerpo pueden ser de plástico, y para realizar la conexión, la cápsula se puede atornillar, cerrar girando o ajustar con un muelle.
- El manguito descargador de tensión libera de tensiones a la fibra óptica.

A continuación se muestra una imagen con los elementos comunes de un conector.

Figura 11. Elementos básicos de un conector de fibra óptica Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



3.5.5. Acopladores ópticos

El acoplador óptico también se conoce comúnmente como adaptador óptico, y consiste en una transición mecánica necesaria para poder dar continuidad al paso de la luz de un extremo conectorizado de un cable de fibra óptica a otra. Es por tanto, un componente pasivo.

Se utilizan generalmente en los distribuidores para facilitar la desconexión y el cambio rápido, acoplando el pigtail (o cable de terminación del conector determinado) que se haya empalmado al cable de fibra con el panel de conexión o patchcord que se conecta a los equipos receptores o transmisores. También se utilizan para conectar un tramo de fibra a los equipos de medida. Las configuraciones en las que se pueden presentar los acopladores son las que se enumeran a continuación:

- Acoplador puro: estructura con N puertos de entrada y M puertos de salida ($M > 2$). Este dispositivo divide el campo que entra por uno de los puertos de entrada entre los M puertos terminales de salida

◦ Divisor (*splitter*) y *tap*: estructura con 1 puerto de entrada y N puertos de salida ($N > 2$). Este dispositivo divide el campo que entra por el puerto de entrada entre los N puertos terminales de salida. La diferencia entre un divisor y un tap es el elevado coeficiente de acoplamiento en este último.

◦ Combinador: estructura con N puertos de entrada y 1 puerto de salida ($N > 2$). Este dispositivo combina la señal que entran por los N puertos de entrada, originándose una única señal por el puerto Terminal de salida.

3.5.6. Divisores ópticos (*splitters*)

El divisor óptico es un tipo concreto de acoplador muy utilizado en redes de fibra óptica, y el elemento principal en una red PON para FTTH.

Las principales características que hacen atractivo al divisor como elemento de distribución de señales procedentes de una fibra hasta múltiples fibras ópticas son las siguientes:

- Pérdidas de inserción muy baja, obtenida a partir de la diferencia entre la entrada y cada una de las salidas del divisor.
- Poseen un espectro lineal de longitud de onda
- Alta uniformidad entre las diversas salidas del divisor
- Elevado aislamiento entre puertos, mayores que 55 dB
- Alta compactación
- Estabilidad térmica para uso externo

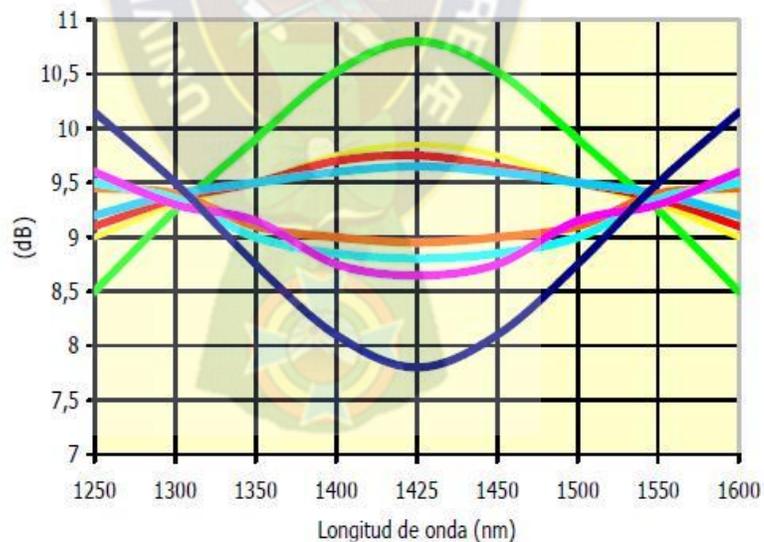
Para garantizar el correcto funcionamiento y las características anteriores, los divisores suelen producirse bajo una tecnología impresa denominada PLC (Planar Lightwave Circuit), donde las guías de onda del componente son impresas sobre un sustrato de

cuarzo, similar al de los chips de silicio. Así se obtiene además de una gran compactación dimensional, una optimización de las pérdidas de retorno, línea del espectro y alta uniformidad. Comparativamente, se pueden presentar los resultados obtenidos a partir de la fabricación de dos divisores ópticos de 1 x 8 con tecnologías distintas. En la Figura 12. Se muestra un gráfico en el que se puede observar claramente las pérdidas de inserción máximas y mínimas del sistema, así como la uniformidad.

Las pérdidas de inserción máximas corresponden a la salida de fibra verde (1) y poseen el valor $IL_{max} = 10.8 \text{ dB}$; por otro lado las pérdidas de inserción mínimas corresponden a la salida de fibra azul oscuro (8) y poseen el valor $IL_{min} = 7.8 \text{ dB}$. Por lo tanto, el valor de la uniformidad, que es la diferencia entre ambos valores, es de $U = 3.0 \text{ dB}$.

Figura 12. Divisor óptico FTB 1x8

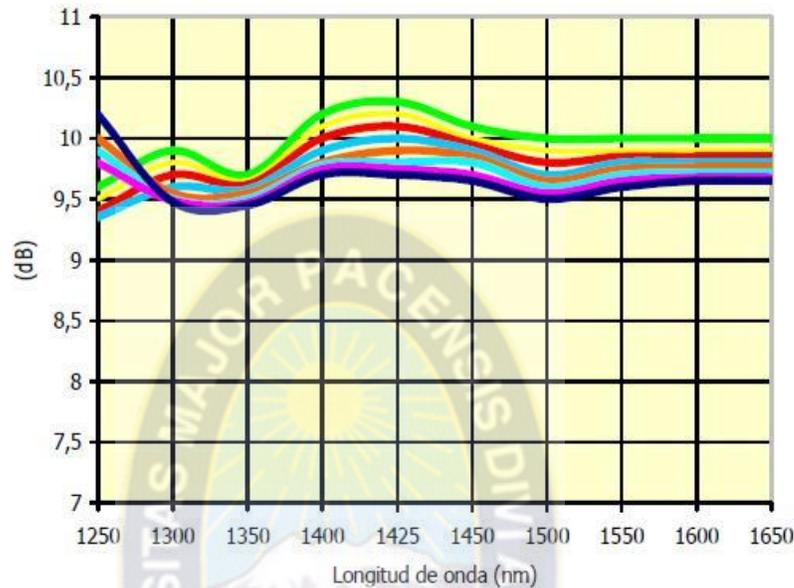
Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



El segundo ejemplo, muestra un divisor producido en tecnología impresa PLC, utilizado usualmente en redes FTTH, según la Figura 13.

Figura 13. Divisor óptico PLC 1x8

Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



En el gráfico de la figura 3.16, se puede observar claramente las pérdidas de inserción máximas y mínimas del sistema, así como la uniformidad. Las pérdidas de inserción máximas corresponden a la salida de fibra verde (1) y poseen el valor $IL_{max} = 10.3$ dB; las pérdidas de inserción mínimas corresponden a la salida de fibra azul oscuro (8) y poseen el valor $IL_{min} = 9.3$ dB. Por lo tanto, el valor de la uniformidad, que es la diferencia entre ambos valores, es de $U = 1.0$ dB.

Observando ambos gráficos en modo comparativo, se puede verificar una mejor respuesta en todo el espectro de onda de operación y mejor uniformidad en el segundo caso, es decir, divisores fabricados a partir de tecnología impresa PLC.

Otra diferencia de los tradicionales divisores FBT, es que éstos últimos pueden ser instalados en centrales de equipos y para uso interno, mientras que los divisores PLC son también mecánicamente y térmicamente adecuados para aplicaciones en ambientes externos, con una muy baja variación en sus funciones y características.

A continuación, se muestra una tabla con las especificaciones más importantes de los divisores ópticos de 1 x 2 hasta 1 x 64.

Figura 14. Especificaciones técnicas más importantes de los divisores ópticos. Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009

Parámetro	Unidad	Especificación					
		1 x 2	1 x 4	1 x 8	1 x 16	1 x 32	1 x 64
Pérdidas de inserción máximas	dB	3.4	7.3	10.8	13.5	16.7	20.4
Uniformidad IL máxima	dB	0.6	1.0	1.0	1.2	1.5	1.8
PDL máximo	dB	0.20	0.25	0.25	0.30	0.40	0.40
Pérdidas de retorno mínima	dB	55					
Directividad mínima	dB	50					
Temperatura de operación	°C	-40 a +85					
Temperatura de almacenamiento	°C	-40 a +85					
Ciclo térmico máximo	°C	-40 a +75					
Tracción de fibra máxima	Kg	0.23 en 250 µm					
Inmersión máxima en agua 340 horas	°C	+43, PH 5.5					
Vibración máxima aleatoria	Hz	10 - 2000					
Impacto máximo a 1.8 m altura	Caídas	+8					
Choque térmico máximo	°C	+100					
Rango de longitudes de onda	nm	1260 a 1600					
Longitud de la fibra	m	Entrada = 2; Salida = 2					

En la figura 15. Se muestran las características y aplicaciones más importantes de los divisores ópticos comerciales más comunes del mercado.

Figura 15: Principales aplicaciones y características de los divisores ópticos. Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009

Características	<ul style="list-style-type: none"> Relación de acoplamiento 1% al 99% Bajas pérdidas de inserción Bajo PDL Excelente uniformidad Alta directividad Bi-direccionalidad Ambientalmente estable y confiable
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> Telecomunicaciones CATV Bucle al abonado FTTH Aplicaciones LAN (Redes de área local) Equipos de medición Sensores de fibra óptica

3.5.7. Aislador óptico

Un aislador óptico consiste en un dispositivo que retransmite la luz en una única dirección. Son muy importantes en los sistemas de comunicaciones ópticos para evitar que las reflexiones de las señales alcancen a otros dispositivos y puedan dañarlos, como por ejemplo a los láseres.

3.5.8. Circulador óptico

El circulador óptico es un tipo de aislador óptico con varios puertos cuya funcionalidad es permitir el paso de toda la luz que entra por uno de sus puertos hacia el siguiente puerto. Por ejemplo cuando la luz que entra por el puerto 1 se dirige al puerto 2, la entrante por el puerto 2 se dirige al puerto 3 y así sucesivamente.

Los circuladores son muy útiles para construir dispositivos ópticos denominados Add-Drop, formado por un circulador seguido por filtros ópticos o Gratings de Bragg de fibra. Estos dispositivos permiten extraer o añadir una longitud de onda.

3.5.9. Filtros ópticos

Un filtro óptico es un dispositivo capaz de seleccionar una banda de longitudes de onda y eliminar el resto. Las principales aplicaciones de los filtros ópticos y que lo convierten en un dispositivo clave en los sistemas de comunicaciones ópticas son:

- La eliminación del ruido, introducido por otros elementos ópticos, como por ejemplo los amplificadores.
- La ecualización de la respuesta de los amplificadores ópticos.

- La selección de canales en sistemas WDM.

Para realizar estas aplicaciones de forma óptica estos dispositivos deben tener unas pérdidas de inserción reducidas. Idealmente, su banda de paso debe ser plana para evitar así la distorsión de la señal.

Existe una gran variedad de dispositivos ópticos que pueden trabajar como filtros. Entre los más comunes se encuentran:

- Los filtros de interferencia, contruidos a partir de materiales con distinto índice de refracción de forma alternativa sobre un sustrato cristalino.
- Los filtros de Fabry-Perot, basados en resonadores de Fabry-Perot o cavidad rodeada de dos espejos ultra reflexivos.
- Los filtros de Mach-Zender, constituido por dos acopladores y dos tramos de fibra de distinta longitud.
- Los filtros sintonizables ópticos-acústicos, basados en el cambio de las propiedades que experimentan los materiales al ser atravesados por ondas acústicas.

3.5.10. Adaptadores de fibra

Los adaptadores de fibra, son básicamente elementos ópticos pasivos que permiten la transición mecánica necesaria para poder dar continuidad al paso de luz del extremo conectorizado de un cable de fibra óptica a otra.

Se comportan como pequeños tambores o cajas que reciben un conector de cada lado produciendo un acople óptico, con la mínima pérdida posible. Se utilizan en los

distribuidores para facilitar la reconexión y cambio rápido, acoplado el pigtail que se haya empalmado al cable de fibra con el cordón de conexión que se conecta a los equipos receptores o emisores. También se utiliza para conectar un tramo de fibra a los equipos de medición.

En la Figura 16. Se muestra una imagen con diversos adaptadores ST, SC, LC y FC válidos para sus conectores correspondientes, disponibles en el mercado.

Figura 16. Adaptadores de fibra óptica

Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



3.5.11. Distribuidores de fibra óptica

Los distribuidores de fibra óptica son conocidos comercialmente como paneles de parcheo o Patch Panel. En ellos termina el cable de fibra óptica de un enlace final, y permite que dicha fibra sea conectada al equipamiento óptico mediante cordones de conexión de fibra.

Los distribuidores ópticos se encuentran disponibles en versión de montaje en pared o montaje en bastidores y se sitúan frecuentemente cerca del equipo terminal (dentro del alcance del cordón de conexión o Patch Cord). El panel de cabecera o frontal del panel de conexión contiene el adaptador que permite al conector del cable aparearse con el conector apropiado del cordón de conexión hasta el equipo. Proporciona una conexión de bajas pérdidas ópticas después de muchas conexiones.

A continuación se muestra una imagen de un repartidor óptico de fibra para conectorización final de 8 fibras.

Figura 17. Distribuidor de fibra óptica

Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



3.5.12. Cajas de empalme

Las cajas de empalme proporcionan un medio de protección del entorno tanto al cable de fibra (ahora ya desnudo o pelado) como a los empalmes. Los empalmes exteriores se protegen dentro de una caja de empalme, la cual posee en un extremo unos tubos a través de los cuales se inserta el cable de fibra óptica.

Existen cajas para montajes interiores y exteriores. Las cajas de tipo exterior deben estar fabricadas a prueba de intemperie y con un sellado impermeable. A continuación se muestra una imagen de varios tipos de caja de empalme preparada para el almacenamiento y protección de empalmes de fusión o mecánicos.

Figura 18. Cajas de empalme de fibra óptica Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



3.5.13. Cordones de conexión y latiguillos de fibra óptica

Los cordones de conexión de fibra óptica, conocidos también como Patch Cord, son análogos a los cables de conexión eléctrica. Un cable de conexión es una fibra de pequeña longitud con una protección ajustada y gruesa, cubierta y/o chaqueta protectora y conectores en ambos extremos.

La cubierta siempre es de color naranja para fibra óptica multimodo y de color amarillo para las fibras monomodo. Este producto viene ensamblado en fábrica, bien en longitudes estándar o bien en longitudes a medida según el requerimiento.

Los cordones de conexión se deben amarrar suavemente con abrazaderas para asegurarlos de una manera ordenada. Las longitudes en exceso se pueden almacenar en bandejas o atar en círculos suaves con un radio superior al radio de curvatura mínimo establecido por el fabricante.

Si se parte por la mitad un cordón de conexión, cada mitad se convierte en un latiguillo, conocido popularmente como pigtail. Un latiguillo de fibra se utiliza para terminar una fibra con un conector; éste se empalma a la fibra por medio de empalmes mecánicos o de fusión para proporcionar una terminación de calidad con un conector de fábrica.

Tanto los cordones como los latiguillos de conexión que se utilicen en una instalación de cable de fibra óptica, deben tener el mismo diámetro del núcleo y si es posible del revestimiento, así como también conectores compatibles entre sí y con los adaptadores del distribuidor de fibra.

A continuación se muestra gráficamente la diferencia entre un cordón de conexión y un latiguillo de conexión de fibra.

Figura 19. Cordón de conexión

Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



Figura 20. Latiguillo de conexión

Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009

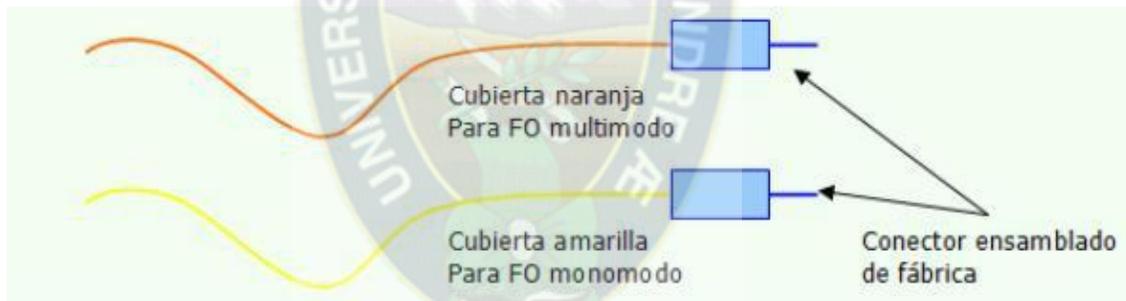


Figura 21. Cordones y latiguillos de conexión de fibra óptica Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



3.6 DISPOSITIVOS EMISORES Y RECEPTORES DE LA LUZ

3.6.1. Multiplexores

Los multiplexores y demultiplexores ópticos son dispositivos activos de la red esenciales en los sistemas WDM o de multiplexación por división en longitud de onda (Wavelength Division Multiplexing). Estos dispositivos se pueden clasificar en dos grandes grupos: basados en gratings o rejillas de difracción, y basados en filtros ópticos, que se detallan a continuación.

3.9.2. Amplificadores ópticos

Cuando una señal se propaga por la fibra óptica se necesitan emplear regeneradores de señal para amplificar la misma, debido a los efectos de la atenuación y la dispersión, así como de la longitud máxima permitida para la fibra entre el transmisor y receptor, que no alcanza a para cubrir toda la distancia del enlace.

Atendiendo al procesado que se efectúa sobre una señal, los regeneradores se clasifican en tres tipos:

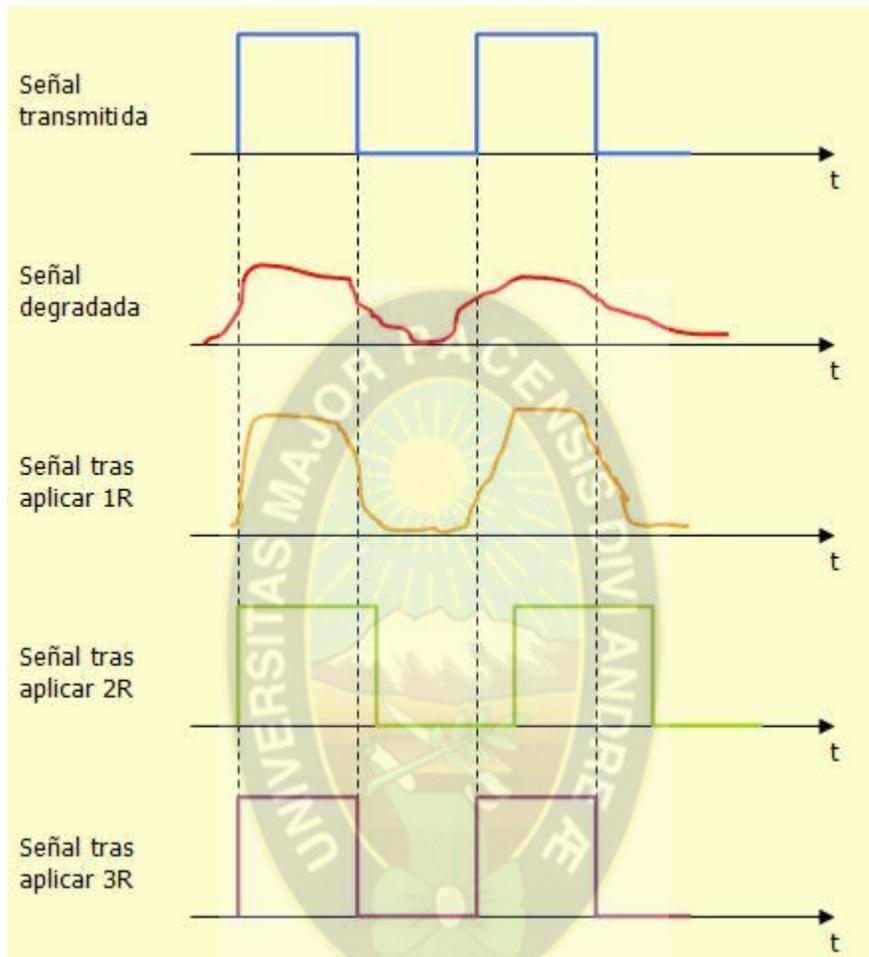
- 1R (Regeneración). Amplifican la señal. Son por tanto transparentes al formato de la modulación y se pueden aplicar a señales analógicas. Por el contrario, añaden ruido y no contrarrestan los efectos de la dispersión y de las no linealidades.

- 2R (Regeneración y reformación). Además de amplificar, se recupera la forma de la señal transmitida, por lo tanto este tipo de amplificadores sólo son aptos para señales digitales.

- 3R (Regeneración, reformación y resincronización). Además de amplificar y regenerar la señal recuperando la forma, la sincroniza. Este tipo de regeneradores cancela los efectos de las no linealidades y de la dispersión.

A continuación se muestra en la imagen 3.25., las ondas de entrada y de salida de los diferentes tipos de regeneradores 1R, 2R y 3R.

Figura 22. Comportamiento general de los diferentes regeneradores de señal Fuente.
PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH -
JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009

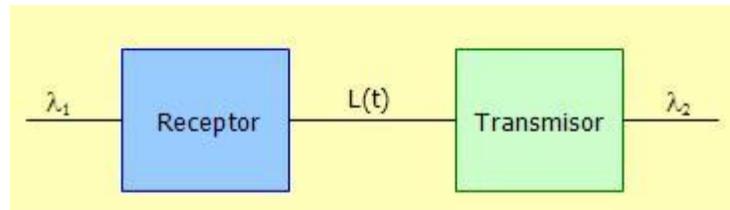


3.9.3. Conversores ópticos de longitud de onda

En una red óptica de comunicaciones la información no es transmitida en todo su recorrido en una misma longitud de onda. Para realizar un máximo aprovechamiento de las longitudes de onda disponibles se realiza el proceso de conversión de longitudes de onda.

Un primer esquema para la realización de este proceso es un tratamiento optoelectrónico de la señal original, como se muestra en la figura 3.26. El sistema equivale a un regenerador electrónico.

Figura 23. Comportamiento de un conversor de longitud de onda. Fuente. PROYECTO FIN DE CARRERA, DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - JESÚS GALEANO CORCHERO – Diciembre 2009



Para realizar este proceso sin necesidad de cambiar la señal al dominio eléctrico se emplean técnicas en las que intervienen procesos no lineales en los que a partir de la longitud de onda inicial y de otra auxiliar se genera una nueva señal con las mismas características que la señal inicial salvo en la longitud de onda. Concretamente los más utilizados son:

- Conversor de longitud de onda basado en XGM, contruidos a partir de amplificadores ópticos semiconductores.
- Conversor de longitud de onda basado en filtros y SOA, contruidos por un filtro con un SOA en cada brazo.
- Conversor de longitud de onda basado en FWM, contruidos utilizando una configuración a partir del fenómeno de mezclado de cuarta onda.

CAPITULO IV

DESARROLLO DEL PROYECTO

4. ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED FTTH

4.1 INTRODUCCIÓN

Se propone el despliegue de un análisis y diseño de una red FTTH (del inglés Fiber To The Home) para la zona cusicancha ubicado en final portada en la ladera de La Paz. Con las coordenadas $16^{\circ}28'58.18''S$, $68^{\circ}9'55.69''$. Se considera dicha medida, con el fin de que converjan los servicios suministrado por el operador mediante esta tecnología a un área específica (zona Cusicancha) mediante la cual se proveerá del servicio triple-play (televisión digital interactiva, telefonía e internet de banda ancha) dirigidos a un ambiente doméstico o de red SOHO (del inglés, Small Office, Home Office).

A continuación se muestra la Figura 24. Donde se encuentra ubicado el cuarto de comunicaciones en la zona.

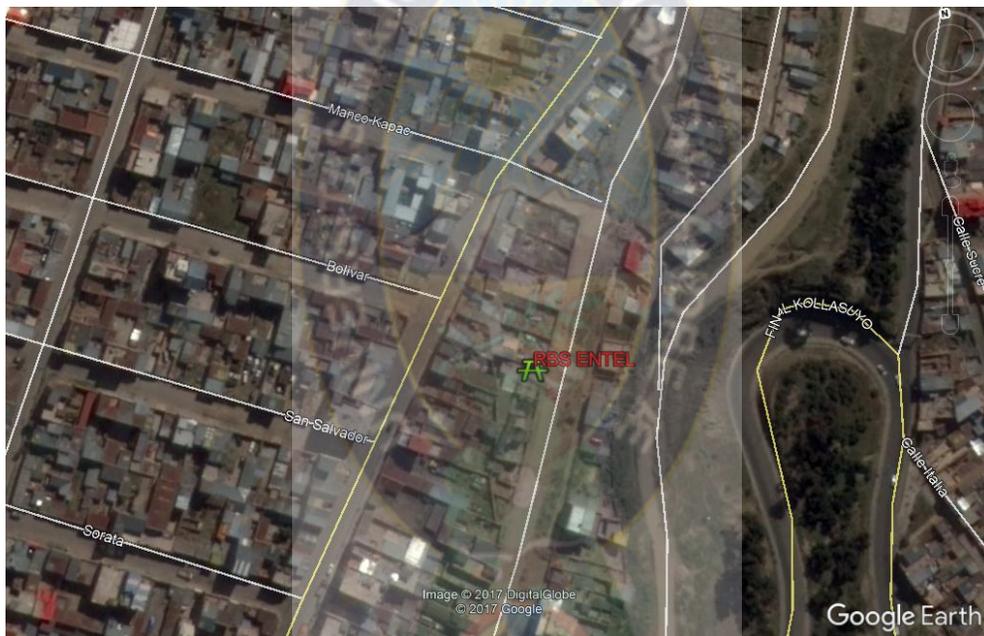
Figura 24. Ubicación Cuarto de Comunicaciones



Para el escenario planteado se efectuará el diseño de la red FTTH tomando como proveedor de los servicios a la empresa de telecomunicaciones ENTEL, cuya TROBA (Terminal de Red Óptica de Banda Ancha) se encuentra ubicado en la dirección av. Chacaltaya entre bolívar calle paralela con sus coordenadas $16^{\circ}29'3.79''S$, $68^{\circ}10'9.17''O$

A continuación se muestra la Figura 25., donde está ubicado el cuarto principal de comunicaciones en el operador de telecomunicaciones ENTEL.

Figura 25. Ubicación Cuarto Principal de Comunicaciones ENTEL



4.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL ESCENARIO

En la actualidad los servicios de telecomunicaciones abandonaron a esta zona ya que no hay ninguna empresa que facilite el servicio los vecinos de esta zona optan por modem, antenas parabólicas y celulares, la juventud de este vecindario no conoce una tecnología, en cuanto a servicio ya que posee una gran demanda de internet, es por esta

razón que el diseño ayudara de gran manera en la economía de la empresa e ira en beneficio de población (vecinos).

Por lo que podemos observar que es una zona que tienen una concentración media de clientes potenciales, adicionalmente se considera el alcance y la capacidad que tiene la red de la empresa ENTEL hoy en día, es decir, cuenta con nodos geográficos e infraestructura que cubren otros sector y que se encuentran conectados mediante enlaces de fibra y de carrier brindado por la empresa, que se encarga de la prestación de servicios de portador de telecomunicaciones en fibra óptica y del transporte de la fibra. Actualmente ENTEL es el proveedor de solución de última milla para nuestro proyecto, el cual cuenta con un cuarto de comunicaciones ubicado en la dirección $16^{\circ}29'3.79''S$, $68^{\circ}10'9.17''O$ como se ilustra en la Figura 26. En donde se ubicara nuestra OLT.

Figura 26. Ubicación Cuarto de Comunicaciones ENTEL



Todos los clientes requieren mayor capacidad, calidad, confiabilidad y por supuesto la integración de un solo servicio que le brinde (Televisión, Internet y teléfono) conocido

como Triple-Play, los cuales se encuentran dispuestos a pagar una módica suma por un excelente servicio como es el anteriormente mencionado.

Triple-play se define como el conjunto de servicios integrados por una misma red de Telefonía, Televisión e Internet. Básicamente es la comercialización de los servicios telefónicos, junto con los de banda ancha y televisión interactiva. Triple-play posibilita un servicio más personalizado al usuario debido a que dispone de los servicios y contenidos que él desea utilizar en el momento idóneo y con una buena calidad.

Dentro de los servicios ofrecidos por Triple-play es el IPTV (Televisión IP) la que despierta un mayor interés, por ser la que requiere de un mayor ancho de banda en el canal de comunicación. Los estándares que corresponde a esta tecnología son SDTV (Televisión Estándar) y HDTV (Televisión de Alta Definición), ambos televisión digital interactiva; sin embargo, HDTV presenta una calidad de video superior.

Partiendo de esta breve visión se considera que la implementación de un red con tecnología GPON permitirá a la empresa ENTEL suministrar servicios de banda ancha basados en fibra a los usuarios de la zona, sin la necesidad de disponer de costosos componentes electrónicos activos en la planta exterior, permitiendo que los abonados cuenten con servicios de ancho de banda que requieren, a un precio atractivo.

La dimensión del mercado está determinada para dar cobertura a toda la zona Cusicancha esto para brindarles el servicio Triple_play bajo la tecnología GPON.

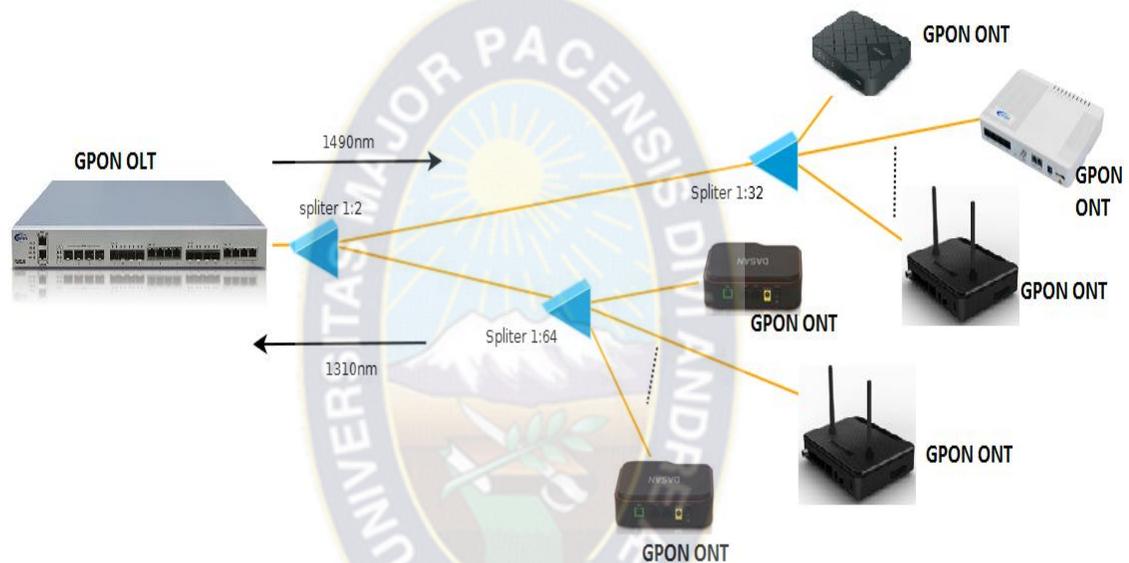
4.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED

La planta externa de la red GPON se debe adaptar a las rutas que seguirá la fibra, considerando las no linealidades de las calles, avenidas, etc, desde el cuarto de comunicaciones de ENTEL, ubicado en la zona alto lima, que es de donde va a partir el diseño de este proyecto hasta el cuarto de comunicaciones ubicado en la entrada de la

zona. Cabe resaltar que ENTEL hará transporte y utilización de sus recursos para la ubicación del equipo principal como es la OLT.

En la Figura 27. Se muestra la topología punto-multipunto con la que se ha optado para trabajar en este diseño, ya que partiendo de un equipo central se puede distribuir los servicios a un número determinado de usuarios finales.

Figura 27. Topología Punto-Multipunto



Como se indicó anteriormente, la zona de cobertura seleccionada es un sector de la zona Cusicancha final portada y se contempla el espacio comprendido entre la OLT hasta el usuario más alejado de la dentro la zona.

A continuación se muestra la figura 28. Donde se puede observar la distribución de los usuarios dentro de la urbanización.



Figura 28. Distribución de los usuarios.

A este sector se le dará servicio a través de la tecnología GPON, conectándose a uno de los nodos geográficos principales que tiene ENTEL en la ubicación descrita anteriormente; conectado al ODF (distribuidor de fibra óptica), el cual nos facilita la centralización, interconexión y derivaciones desde la RBS desde aquí parte la fibra óptica hacia dos puntos; splitter 1:4, luego se ramifica la fibra hacia los splitter 1:16, de estos splitters salen las diferentes fibras hasta cada uno de los usuarios finales.

El alcance del proyecto es a toda la zona cusicancha, teniendo en cuenta que la infraestructura y equipos utilizados en la implementación de la solución nos dará para llevar a cabo una escalabilidad más adelante cuando se tenga una mayor demanda de usuarios que desean tener el servicio en su domicilio.

En la figura 28. Se muestra un modelo genérico de cómo se realizará el diseño para dar cobertura y facilitar el diseño de la red.

La opción más factible para nuestro diseño es tender la fibra desde la RBS que se encuentra a menos de 1 km es por tal motivo que la fibra que se usa ya está tendida la troncal que está destinada hacia otro punto así podemos usar la misma fibra para hacer nuestra red. Es desde el punto donde se encuentra una repetidora de entel es desde donde se empezará a distribuir con los splitters de 1:4 y 1:16.

Todo el cableado de esta ruta o diseño será vía aérea ya que los postes se encuentran despejados y así será más económico desde el punto de vista monetario, ya que la empresa ENTEL cuenta con la infraestructura en el terreno.

Con estas dos etapas de splitting en cascada se tiene una relación de 1:64 servicios por cable de fibra. Además del criterio constructivo de contar con esas dos etapas de splitters, el punto fundamental es la cantidad de usuarios por acceso GPON, en este caso se tienen 64 usuarios por cada puerto GPON.

Esto, más allá de las características constructivas de la arquitectura, determina el dimensionado del equipo de central OLT y sobre todo el ancho de banda que se puede ofrecer a cada cliente ya que por cada puerto GPON se tiene un throughput (Flujo de datos máximo permitido a través del canal) de 2.4 GHz, el cual se comparte entre todos los usuarios conectados a ese puerto (64 usuarios por puerto). En este caso se obtiene un ancho de banda por usuario de 37.5 Mbps.

La forma en la que se determinó el valor correspondiente a la capacidad requerida para brindar el servicio triple-play a cada usuario de manera general para este proyecto fue realizando un estudio de consumo de ancho de banda por servicios específicos, de los cuales se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 4. Ancho de Banda Requerido por UsuarioFuente. http://upcommons.upc.edu/PFC_HECTOR_LABEAGA.PDF

SERVICIO	ANCHO BANDA SUBIDA	ANCHO DE BANDA BAJADA
SDTV	64Kbps	4 Mbps
HDTV(POR CANAL 9Mbps) MPEG-4, para 4 TV	64Kbps	36 Mbps
NAVEGACION- INTERNET	640 Kbps	10 Mbps
JUEGOS EN LINEA	3 Mbps	3 Mbps
VOZ	256 Kbps	256 Kbps
VIDEO CONFERENCIAS	1.5 Mbps	2 Mbps
TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS	512 Kbps	512 Kbps
VIDEO BAJO DEMANDA	128 Kbps	6 Mbps
TOTAL	6,164 Mbps	61,768 Mbps

Se ha calculado el valor del consumo de ancho de banda que podría requerir un usuario para la utilización de los servicios descritos en la Tabla 5., para todos los servicios en Downstream 61,768 Mbps y Upstream 6,164 Mbps.

La velocidad que se puede asignar a cada usuario, siempre y cuando a todos se les entregue un mismo valor, depende del número de subscriptores por OLT con que se vaya a trabajar, es decir, teóricamente y considerando la recomendación UIT-T G.983.1, si un puerto OLT-GPON fuera a servir con la misma velocidad a 64 ONT

entonces el cliente tendrían 37.5 Mbps en downstream y 18.75 Mbps en upstream cada uno. Estos valores se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5. Velocidades Upstream y Downstream en GPON
Fuente: Recomendación UIT-T G.983.1

	GPON	POR SUSCRIPTOR	
		1:32 SPLIT	1:64 SPLIT
DOWNSTREAM	2.4 Gbps	75 Mbps	37,5 Mbps
UPSTREAM	1.2 Gbps	37,5 Mbps	18,75 Mbps

En la base a lo expuesto en la tabla 5. Se determina que cada uno de los usuarios requerirá como mínimo una capacidad de 7 Mbps de upstream y 62 Mbps de downstream para poder contar con los servicios detallados y brindarlo a los usuarios. Estos valores estarían dentro de los que dicta la recomendación UIT-T G.983.1.

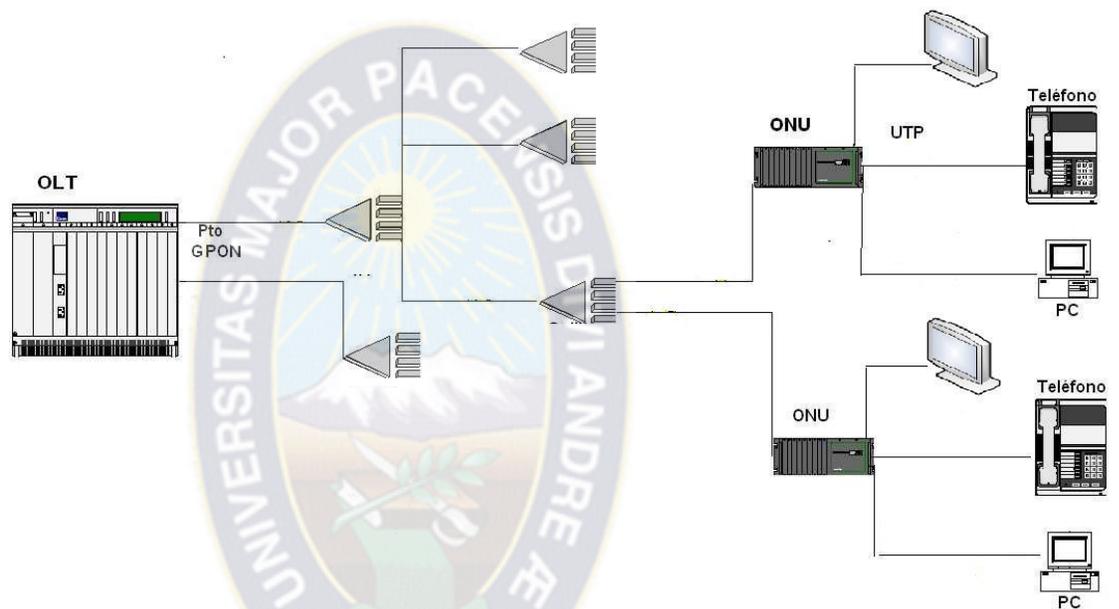
Teniendo en cuenta lo antes indicado, las consideraciones principales relacionados con esta alternativa son:

- Se tiene 64 usuarios por hilo , y dado que cada nodo cuenta con 18 puertos GPON se tendrán 1152 clientes por nodo, de los cuales para dar solución a este proyecto para los usuarios se determina la utilización de 3 puertos GPON en la OLT.
- Se dará una solución para los usuarios con un ancho de banda de 62 Mbps, para la prestación de los servicios Triple-Play detallados en la tabla 6. y se hará escalable en el momento de proyectar nuevos clientes, ya que se disponen de puertos GPON en la OLT adicionales.
- Se tiene los 62 Mbps, que recomienda UIT-T G.983.1 para la prestación del servicio triple-play.

A continuación se observa la Figura 29. Con el diagrama de la arquitectura planteada (64 usuarios/pto-GPON con dos etapas de Splitters):

Figura 29. Esquema Arquitectura de Red FTTH

Fuente. Marcelo Abreu; Aldo Castagna; Pablo Cristiani; Pedro Zunino; Enrique Roldós; Gustavo Sandler - Características Generales de una Red (FTTH)



Cabe indicar que la red GPON utiliza 3 longitudes de onda, para la separación de los tipos de señales:

- 1310nm para voz y datos, desde el ONT a la OLT (Upstream, del cliente a la central).
- 1490nm para voz y datos, desde la OLT al ONT (Downstream, de la central al cliente).
- 1550nm para video de RF1, desde la central al ONT (Downstream).

Es por esta razón que las tres longitudes de onda se combinan en un multiplexor WDM (Wavelength División Multiplexer). Para poder integrar la señal de video al usuario

final se necesita un transmisor de video en la longitud de onda de 1550 nm que se encuentra en la cabecera de la red del proveedor de telecomunicaciones ENTEL.

4.4 CÁLCULOS DE ATENUACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA

Para los cálculos de atenuación se considera el empleo de una fibra óptica monomodo UIT-T G.652, para los servicios planteados en este proyecto, debido a que las longitudes de onda empleadas son 1310, 1490 y 1550, y estas se encuentran ubicadas en la banda O (1260 a 1360nm), S (1460 a 1530nm) y C (1530 a 1565nm), respectivamente. A continuación se muestra en la Tabla 6. Las especificaciones técnicas de la fibra óptica monomodo, según los diferentes estándares de la ITU-T; y en la Tabla 8. Se muestra las especificaciones técnicas de las tarjetas OLT y ONU utilizadas para la transmisión y recepción de datos.

Tabla 6. Especificaciones técnicas de la fibra óptica. Fuente: Arturo Osvaldo Ojeda Sotomayor - “ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED FTTH EN UN CAMPUS UNIVERSITARIO Y UNA VIVIENDA RESIDENCIAL”

CARACTERÍSTICAS	FIBRA DE DISPERSION NORMAL(G-652)		FIBRA DE DISPERSION DESPLAZADA(G-653)		FIBRA DE ATENUACION OPTIMIZADA(G-654)	FIBRA DE DISPERSION DESPLAZADA NO NULA(G-655)
	λ 1.31um	λ 1.55um	λ 1.31 um	λ 1.55um	λ 1.55um	λ 1.55um
Coefficiente de atenuación (db/km)	0.4	0.3	0.55	0.35	0.22	0.35

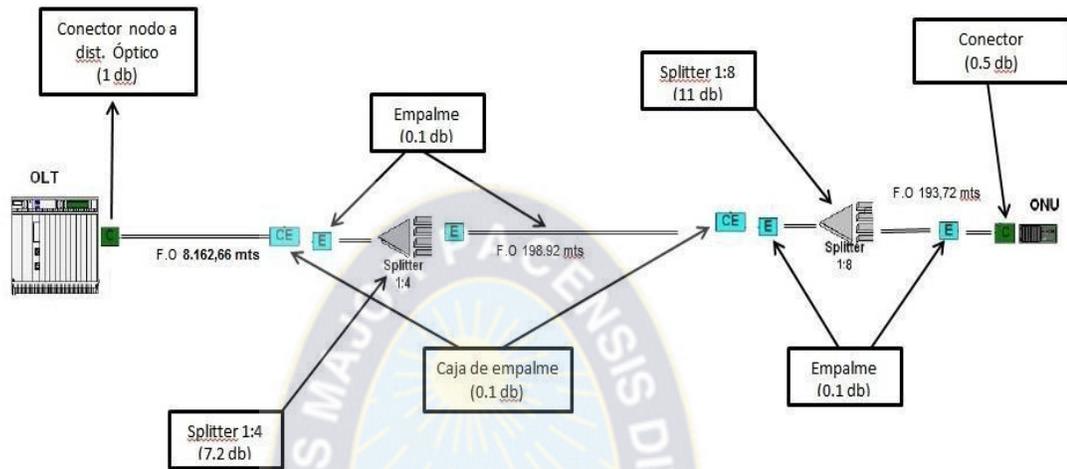
Tabla 7. Especificaciones técnicas de la tarjeta OLT y ONU. Fuente: Arturo Osvaldo Ojeda Sotomayor - “ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED FTTH EN UN CAMPUS UNIVERSITARIO Y UNA VIVIENDA RESIDENCIAL”

TIPO	OLT	ONU
	CWDM (MONOMODO)	CWDM (MONOMODO)
LONGITUD DE ONDA	Tx: 1490	Tx: 1490
	Rx: 1310	Rx: 1310
NM	2.5	2.5
TIPO DE FIBRA	SMF	SMF
TAMAÑO DEL NUCLEO	9 o 10	9 o 10
DISTANCIA DEL CABLE	20 Km	20 Km
POTENCIA DE TRANSMISIÓN	Máx: 2	Máx: -8
	Mín: 0	Mín: -28
POTENCIA DE RECEPCIÓN	Máx: 2	Máx: -8
	Mín: 0	Mín: -28

4.5 CÁLCULOS DE ATENUACIÓN DE ELEMENTOS DE LA RED

Con el fin de esquematizar los cálculos de atenuación que se realizarán posteriormente se muestra a continuación en la Figura 30. Los elementos que conforman el esquema de la red FTTH, con los valores de atenuación de cada uno de los elementos que intervienen en el sistema.

Figura 30: Componentes y valores de atenuación de elementos.
Fuente. Marcelo Abreu; Aldo Castagna; Pablo Cristiani; Pedro Zunino; Enrique Roldós; Gustavo Sandler- Características Generales de una Red (FTTH)



Se procede a realizar los cálculos de atenuación para cada longitud de onda en el que trabaja WDM (1490,1310 y 1550). A continuación se muestran las atenuaciones de la fibra para las longitudes de onda que nos interesan para nuestra red:

- 1310 nm: 0.4 dB/km
- 1490 nm: 0.5 dB/km
- 1550 nm: 0.3 dB/km

A continuación para la longitud de onda de 1490 nm se muestra la Tabla 9. Correspondiente a las atenuaciones máximas y mínimas permisibles del sistema, respectivamente.

Tabla 8. Atenuación máxima y mínima permisible del sistema Fuente: Arturo Osvaldo Ojeda Sotomayor - “ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED FTTH EN UN CAMPUS UNIVERSITARIO Y UNA VIVIENDA RESIDENCIAL”

ATENUACION	MINIMA	MAXIMA
Potencia óptica del transmisor (dBm)	2	0
Sensitividad óptica del receptor (dBm)	-8	28
TOTAL	10	28

La atenuación de extremo a extremo con las diferentes longitudes de ondas se obtiene de la siguiente manera:

- Para $\lambda = 1490$ nm:

Transmisor: OLT

Receptor: ONT

F.O. * 0.5db/Km F.O.= 1.5 * 0,5 =0.75db

Los 20 mts que se suma a cada uno de los tramos, es la reserva que se deja en cada una de las cajas donde estará ubicada el elemento (splitter).

Tabla 9. Evaluación de atenuación del enlace ($\lambda = 1490 \text{ nm}$)

Atenuación de la fibra óptica (db)	0,75
Atenuación por multiplexor óptico CWDM de la OLT	1
Atenuación por empalmes (3 empalmes) (0.1db/e)	0,3
Atenuación por conectores(3 conectores)(0.5db)(1db)	1,5
Atenuación spliter 1:4 (db)	7,5
Atenuación spliter 1:16 (db)	10,5
Atenuación por multiplexor óptico CWDM de la ONT	1
Atenuación margen de seguridad	3,0
Atenuación total del enlace extremo a extremo	25,5
Comparación de resultado $10 < 25,5 < 28$	

□ Para $\lambda = 1310 \text{ nm}$:

Transmisor: ONT

Receptor: OLT

F.O.= $1,5 * 0,4 = 0,6 \text{ db}$

Tabla 10. Evaluación de atenuación del enlace ($\lambda = 1310 \text{ nm}$)

Atenuación de la fibra óptica (db)	0,6
Atenuación por multiplexor óptico CWDM de la ONU	1
Atenuación por empalmes (3 empalmes) (0.1db/e)	0,3
Atenuación por conectores(3 conectores)(1db)(0.5db)	1,5
Atenuación spliter 1:4 (db)	7,5
Atenuación spliter 1:16 (db)	10,5
Atenuación por multiplexor óptico CWDM de la OLT	1
Atenuación margen de seguridad	3,0
Atenuación total del enlace extremo a extremo	25,4
Comparación de resultado $10 < 25,4 < 28$	

Los resultados obtenidos en las Tablas 9. y 10. Muestran que la atenuación del enlace de extremo a extremo con las longitudes de onda de 1490 y 1310 cumplen con el límite máximo permisible del sistema, el margen por el cual este límite es un valor mínimo correspondiente que se asume un margen de seguridad de 3 dB, se puede considerar que el valor de atenuación del enlace de 25,5 y 25 dB se encuentran dentro de los límites máximos y mínimos permisibles del sistema con lo cual se consigue que la potencia óptica recibida en el receptor no sea demasiado potente como para saturarlo, ni demasiado pequeña como para evitar que la señal original no sea recuperada.

4.6 MÉTODO DE TERMINACIÓN DE CABLES EN ZONA

La terminación de cables en la zona cusicancha se realizará a través del método de empalme con ‘pigtail’ en la roseta óptica ubicada al interior del domicilio; y los conectores empleados serán tipo SC-PC debido principalmente a su compatibilidad con la mayoría de equipos y por su calidad en el pulido.

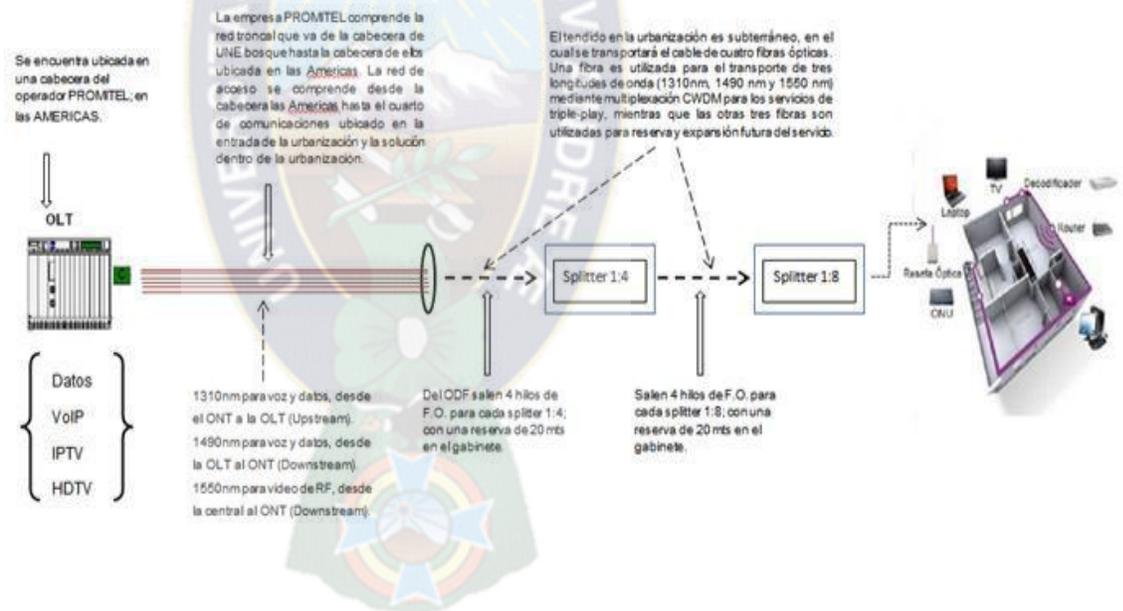
4.7 INTERCONEXIÓN DE EQUIPOS Y TERMINACIÓN DE RED

La Figura 4.8., que se muestra a continuación corresponde a la conexión de los equipos en RBS que esta próxima ala zona cusicancha. Los equipos pertenecientes a la cabecera principal; chasis modular, el cual contiene un módulo de gestión SNMP (Protocolo Simple de Administración de Red) encargado de administrar las tarjetas modulares OLT; una tarjeta modular OLT que sirve de transmisor y receptor para la señal que va hacia la zona; una tarjeta GPON de 8 puerto para dar cobertura de los servicios. Una computadora que provee la interfaz de usuario con el módulo de gestión SNMP; y un repartidor óptico que actúa como punto de terminación de red entre el usuario y el operador.

Los equipos pertenecientes a las viviendas en la zona consisten en una roseta óptica que es la unidad de terminación de fibra óptica en el hogar; una Unidad de Red Óptica, mejor conocida como ONU (del inglés Optical Network Unid), la cual se encarga de la transmisión y recepción de datos; un router VoIP (alámbrico o inalámbrico) que provee una interfaz para el teléfono analógico y encaminar la señal IP; y un decodificador digital de IPTV y HDTV que provee la interfaz para la televisión digital interactiva, para este caso serían 4 decodificadores por cliente.

Figura 31. Equipos y Elementos; descripción.

Fuente. Marcelo Abreu; Aldo Castagna; Pablo Cristiani; Pedro Zunino; Enrique Roldós; Gustavo Sandler- Características Generales de una Red (FTTH)



4.8 PRESUPUESTO DISPOSITIVOS Y ACCESORIOS

PRESUPUESTO					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	VLR.UNI	TOTAL
1	Cabina OLT 18 slots para tarjeta GPON	uni	1	\$ 243.407.00	\$ 243.407.00
2	Tarjeta OLT de 8 salidas GPON. ITU-TG 984.x	uni	1	\$ 851.551.00	\$851.551.00
3	ODF 24 Distribuidor de fibra óptica	uni	1	\$ 32.000.00	\$ 32.000.00
4	Armario Rack Exterior Telecomunicaciones	uni	2	\$ 486.601.00	\$973.202.00
5	SPLITTERS 1:4.NORMA ITU-TG 984.x	Uni	3	\$ 35.543.00	\$ 107.029.00
6	SPLITTERS 1:16.NORMA ITU-TG 984.x	Uni	16	\$ 81.135.00	\$ 1298.160.00
7	ONT Indoor salida Ethernet 10/100/1000	uni	192	\$ 36,593.00	\$ 7025.856.00
VALOR TOTAL					\$ 10531.205

5. CONCLUSIONES

Las nuevas aplicaciones que surgen continuamente crean una demanda de mayor velocidad en las comunicaciones; por lo cual se comenzó a explotar al máximo las redes de cobre convencionales mediante tecnologías que comprimen cada vez más la información. Sin embargo, los equipos utilizados con estas tecnologías son cada vez más complejos y costosos; además de las limitaciones existentes de ancho de banda en las redes de cobre. Razón por la cual, se prefiere migrar hacia redes de fibra óptica que ofrecen velocidades de hasta 10 Gbps y con proyección de seguir incrementándose en el futuro.

Uno de los principales problemas en la velocidad de transmisión de las telecomunicaciones se debe a los “cuellos de botella” ocasionados por la transición de flujos de datos en medios con diferente capacidad de transmisión, en el bucle final del abonado. La tecnología FTTH ofrece una solución permanente a este problema mediante el cambio de medio de transmisión por fibra óptica y con la introducción de tecnologías xPON que nos brindarán una mejora significativa en el ancho de banda y atenuación disponibles.

El precio del cable de fibra óptica también los equipos e infraestructura relacionada involucra una inversión mayor tanto para la empresa como para el usuario; sin embargo, brinda mayores prestaciones que las redes de cobre ADSL debido a las características inherentes de la fibra óptica como su amplio ancho de banda, su reducida atenuación en altas frecuencias y su inmunidad a las interferencias electromagnéticas.

A pesar de que la tecnología FTTH supone una mayor inversión en equipos, infraestructura y personal capacitado, no se encuentra muy lejos de formar parte de nuestra realidad. Esto último se observa en los elevados costos que se cobra actualmente por paquetes triple-play, que ofrecen servicios de una calidad muy por

debajo de la que se puede ofrecer con tecnologías basadas en FTTH. Por lo tanto, se cuenta actualmente con una demanda con capacidad de pago necesaria para que las operadoras de telecomunicaciones asuman el reto de introducir esta nueva tecnología en un futuro no muy lejano.

Una de las características clave de las redes PON es la capacidad de sobresuscripción. Esto permite a los operadores ofrecer a los abonados más tráfico cuando lo necesiten y cuando en la red no haya otros abonados que están empleando todo el ancho de banda disponible en la red. Esta funcionalidad es denominada ubicación dinámica del ancho de banda o DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) del PON punto a multipunto.

La implementación de la fibra óptica en servicios triple play (voz, datos y video) de banda ancha permite alcanzar distancias de hasta 20 km y los problemas de ruido, atenuación e interferencia se minimizan debido al tipo de elementos pasivos que se utilizan.

Debido a que es una tecnología nueva en el mercado de las telecomunicaciones en nuestro país, los costos de implementación y operación todavía son altos, por lo tanto dicha tecnología está dirigida a un segmento de la población con alto poder adquisitivo, aunque a largo plazo se pretende abaratar los costos para poder ampliar el mercado. Esto se podría lograr aproximadamente después de un año de funcionamiento de la tecnología cuando se haya recuperado la inversión inicial.

Con todas las ventajas que ofrece la fibra óptica como medio de transmisión, las redes ópticas pasivas (PON) se han convertido actualmente en una de las mejores opciones tecnológicas para redes de acceso y se ha escogido la tecnología GPON ya que soporta todo tipo de tráfico lo que permite brindar servicio de voz, datos y video que para ser servido con calidad requiere de un gran ancho de banda, además de la reducción de costos debido a que no utilizan elementos ATM y SDH.

BIBLIOGRAFIA

Internacional Telecommunication Union. “Requisitos de la red óptica”. En Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas (PON). Recomendación UIT-T G.983.1 (01/2005).

Internacional Telecommunication Union. Especificación de la interfaz de control y gestión de terminales de red óptica para redes ópticas pasivas de banda ancha (BPON). Recomendación UIT-T G.983.2 (07/2005).

Internacional Telecommunication Union. Sistema de acceso óptico de banda ancha con capacidad de servicio incrementada mediante la asignación de longitudes de onda. Recomendación UIT-T G.983.3 (06/2005).

Internacional Telecommunication Union. Redes ópticas pasivas de capacidad Gigabit (GPON): características generales. Recomendación UIT-T G.984.1 (03/2008).

Internacional Telecommunication Union. Redes ópticas pasivas de capacidad Gigabit (GPON): especificación de la capa dependiente de los medios físicos. Recomendación UIT-T G.984.2 (03/2008).

Internacional Telecommunication Union. Redes ópticas pasivas de capacidad Gigabit (GPON): especificación de la capa de convergencia de transmisión. Recomendación UIT-T G.984.3 (03/2008).

Internacional Telecommunication Union. Redes ópticas pasivas de capacidad Gigabit (GPON): especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica. Recomendación UIT-T G.984.4 (02/2008).

Internacional Telecommunication Union. Características de las fibras y cables ópticos monomodo. Recomendación UIT-T G.652 (06/2005).

Arturo Osvaldo Ojeda Sotomayor - “ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED FTTH EN UN CAMPUS UNIVERSITARIO Y UNA VIVIENDA RESIDENCIAL” - Tesis para optar el Título de Ingeniero de las Telecomunicaciones.

Marcelo Abreu; Aldo Castagna; Pablo Cristiani; Pedro Zunino; Enrique Roldós; Gustavo Sandler- Características Generales de una Red (FTTH).

Internacional Telecommunication Union. Redes ópticas pasivas de capacidad Gigabit (GPON): características generales. Recomendación UIT-T G.984.1(03/2008).

Jesús Galeano Corchero - DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA RED FTTH - Proyecto Fin De Carrera.



ANEXO A
DIVISORES OPTICOS
SPLITTERS 1:4

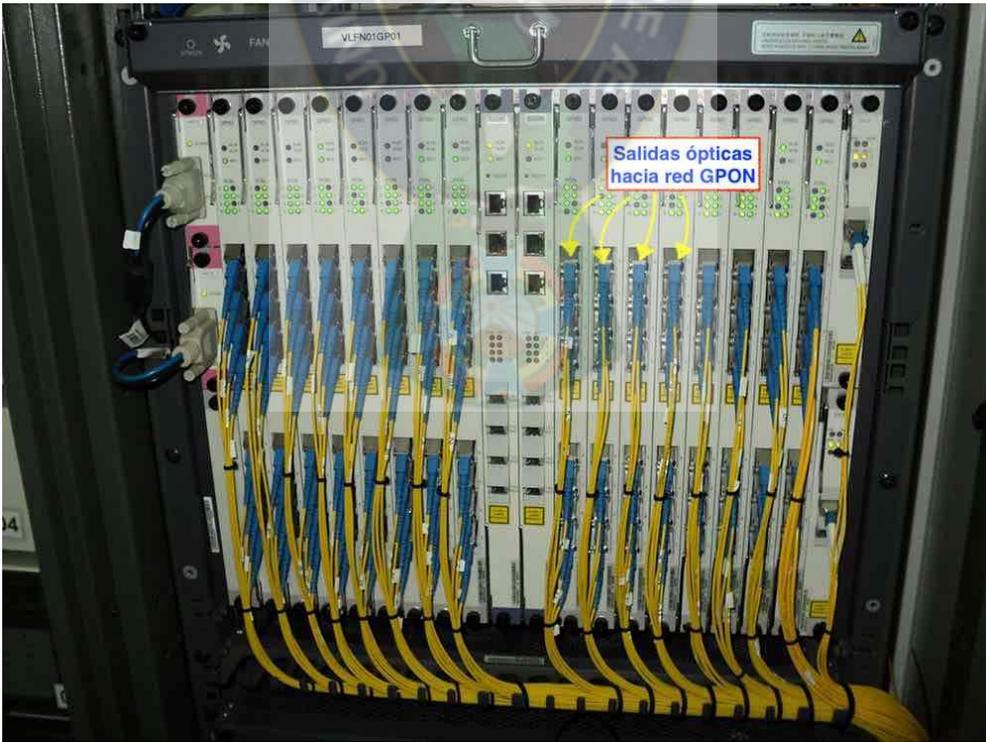


SPLITTER 1:16



ANEXO B

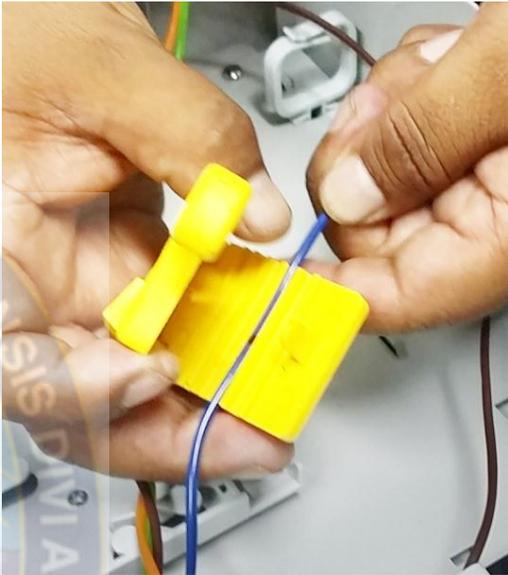
EQUIPO OLT



**ANEXO C
EQUIPOS DE FIBRA OPTICA
PELADORA**



CORTADORA DE FIBRA



FUSIONADORA



POWER MITER



**ANEXO D
EQUIPOS GPON
CAJA NAP**



DECODIFICADOR



ROUTER



FIBRA MONOMODO



ANEXO E

