

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y

TELECOMUNICACIONES



**“ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA FTTH
PARA BRINDAR SERVICIO DE VOZ, VIDEO Y DATOS PARA EL
BARRIO SAN CRISTÓBAL, UBICADO EN CIUDAD DE TARMA,
DEPARTAMENTO DE JUNÍN”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER

CAHUANA GOMEZ, GUSTAVO ANTONIO

**Villa El Salvador
2015**

DEDICATORIA

A Miriam mi esposa por su paciencia, amor
y comprensión,

A mis hijas por ser la luz de mi día e
inspiración,

A mis padres y hermanos por ayudarme
desde siempre y confiar en mí.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Marco y Lucy, por estar conmigo en los momentos más difíciles y su ayuda incondicional. Gracias por alentarme a lograr mis sueños, por su paciencia y por los regaños que merecí y en su momento no entendí. Gracias por creer en mí y por darme un ejemplo de vida tan grande como el de ustedes.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	2
1.2. Justificación del problema	3
1.3. Delimitación del proyecto	3
1.3.1. Limitaciones teóricas	3
1.3.2. Limitación espacial	4
1.3.3. Limitaciones temporales.....	4
1.4. Formulación del problema.....	4
1.4.1. Problema general.....	4
1.4.2. Problemas específicos	4
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. Objetivo general	4
1.5.2. Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la investigación	6
2.1.1. Título: Telefonía en fibra óptica.....	6
2.1.2. Título: Diseño de una red FTTH para la renovación de los servicios de las operadoras telefónicas de Guayaquil	7
2.1.3. Título: Diseño de una red de Telecomunicaciones de banda ancha para la región de San Martín.....	7

2.1.4. Título: Diseño de una red de fibra óptica para un sistema de video vigilancia.....	8
2.2. Bases Teóricas	8
2.2.1. Fibra Óptica	8
2.2.2. FTTH (Fiber To The Home)	9
2.2.3. Características del sistema FTTH	9
2.2.4. Arquitectura de Redes FTTH	10
2.2.5. Aplicaciones de FTTH.....	14
2.2.6. Ventajas y Desventajas de FTTH.....	15
2.2.7. Tecnologías PON.....	17
2.3. Marco Conceptual.....	24
2.3.1. OLT.....	24
2.3.2. PSTN.....	25
2.3.3. ONT	25
2.3.4. B-ONT	25
2.3.5. ATM.....	26
2.3.6. Wave Division Multiplexing	26
2.3.7. ITU-T G.652.....	27
2.3.8. ITU-T G.653.....	27
2.3.9. ITU-T G.654.....	27
2.3.10. ITU-T G.655.....	27
CAPÍTULO III: ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA FTTH PARA BRINDAR SERVICIO DE VOZ, VIDEO Y DATOS PARA EL BARRIO SAN CRISTÓBAL, UBICADO EN LA CIUDAD DE TARMA, DEPARTAMENTO DE JUNÍN.....	28

3.1. Análisis de solución	28
3.2. Construcción de diseño de Red FTTH	29
3.2.1. Dimensionamiento de la Red	29
3.2.2. Punto Origen de la Red FTTH	30
3.2.3. Punto Destino de Fibra de Trayecto.....	31
3.2.4. Trayecto de Fibra Óptica.....	31
3.2.5. Topología de Red Óptica	32
3.2.6. Sectorización y distribución de la Red FTTH.....	32
3.2.7. Delimitación y Discriminación de componentes de cada Sector	33
3.2.8. Dimensionamiento de Equipos	37
3.2.9. Cálculos para el enlace	39
3.2.10. Ventanas de transmisión para la fibra óptica.....	39
3.2.11. Cálculo del Budget óptico	40
3.2.12. Atenuación de enlace	40
3.2.13. Cálculos para Ancho de Banda.....	47
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	60
ANEXOS	61

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de una Red Óptica Pasiva	11
Figura 2: Arquitectura P2P	12
Figura 3: Arquitectura P2PM	13
Figura 4: Arquitectura APON.....	18
Figura 5: Red GPON.....	22
Figura 6: OLT ubicado Frente a la Plaza de Armas de Tarma.....	30
Figura 7: Ubicación de ODF de distribución del Barrio San Cristóbal.....	31
Figura 8: Tendido de Fibra óptica desde OLT a ODF	32
Figura 9: Distribución de Spliter Óptico desde OLT.....	33
Figura 10: Mapa de Sector 1	34
Figura 11: Mapa de Sector 2.....	35
Figura 12: Mapa Sector 3.....	36
Figura 13: Mapa de Sector 4.....	36
Figura 14: ONT domiciliaria Zhone.....	40

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros de la capa dependiente del medio físico de la ODN	23
Tabla 2: Parámetros de interfaz óptica 2488 Mbit/s sentido descendente para una sola fibra	24
Tabla 3: Parámetros de interfaz óptica 1244 Mbit/s sentido ascendente para una sola fibra	24
Tabla 4: Relación de Splitter y Usuarios Reales Sector 1	37
Tabla 5: Relación de Splitter y Usuarios Reales Sector 2	37
Tabla 6: Relación de Splitter y Usuarios Reales Sector 3	38
Tabla 7: Relación de Splitter y Usuarios Reales Sector 4	38
Tabla 8: Tabla de Transmisión para cada Ventana	39
Tabla 9: Detalle de Empalmes a realizarse desde OLT a Usuario Final	44
Tabla 10: Detalle de Empalmes a realizarse desde OLT a Usuario Final	44
Tabla 11: Tabla de Cálculo de Atenuaciones Totales	46
Tabla 12: Niveles de Calidad de Calidad de imagen con Tasa de datos requerida	50

INTRODUCCIÓN

La evolución de las tecnologías de información entre ellas, la transmisión de datos, voz y video se dan constantemente en el mundo de las comunicaciones; con frecuencia observamos nuevos formatos de video como 4K UHDTV, 8k UHDTV, etc. Así también observamos la tendencia de los fabricantes de electrodomésticos los cuales usan la llamada tecnología S.M.A.R.T, consistente en sincronizar y administrar todos los aparatos electrodomésticos a través de la red.

La transmisión de datos a través de fibra óptica, permite solucionar los problemas anteriormente descritos, con ello podremos garantizar un medio de transmisión con un ancho de banda capaz de soportar tecnologías actuales y hasta las venideras en un mediano plazo.

La fibra óptica utiliza haz de luz como medio de transporte de datos; su propagación se realiza a través de cristales de sílice y utiliza como fuente luz led o laser. Esto asegura la velocidad y confiabilidad de este tipo de transmisión frente a otras tecnologías ya obsoletas.

Al transmitir datos mediante fibra óptica, garantizamos la disminución de la cantidad de cables necesarios en los postes para brindar servicios de comunicaciones. Por ejemplo a través de un solo cable de fibra óptica, podemos transmitir internet de banda ancha, televisión por cable HD y telefonía, disminuyendo con esto costos de instalación, mantenimiento y aminorando el peso y tensión en los postes.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

En el barrio, San Cristóbal, de la Ciudad de Tarma, Departamento de Junín, no se cuenta con tecnología FTTH; actualmente sus servicios de comunicaciones se ven limitados por el cable de cobre (coaxial o par de cobre), estos tienen un ancho de banda muy limitado, por este motivo la transmisión de diferentes tipos de información como por ejemplo TV cable, teléfono e internet se tienen que realizar a través de diferentes cables, ocasionando con ello más gastos en materiales, instalación, mantenimiento , ocasionando un deficiente y limitado servicio a comparación de tecnologías de transmisión óptica .

Debido a ello surge la necesidad de proponer el despliegue de redes de comunicaciones ópticas mediante la interconexión red GPON punto a multipunto.

1.2. Justificación del problema

El proyecto de tendido de fibra óptica es económicamente rentable debido a que se necesitará tender un solo cable de fibra óptica por los postes de energía para dar servicio de voz, video y datos; de esta manera se disminuirán los costos de instalación, logística y mantenimiento.

Este proyecto es técnicamente posible, debido a que existe la tecnología en Fibra Óptica para poder realizar instalaciones de tipo FTTH, así como el desarrollo de cálculos para efectuar el diseño de esta.

Este proyecto, es viable debido a que la cantidad de usuarios que se podrán beneficiar 90 familias las cuales podrán contar con el servicio de voz, video y datos (Triple Play); trayendo consigo modernidad, información para la educación e inclusión.

1.3. Delimitación del proyecto

La población que se verá beneficiada son los residentes del Barrio San Cristóbal, ubicado en la Ciudad de Tarma, departamento de Junín.

1.3.1. Limitaciones teóricas

Los temas que se tocan en el presente trabajo de investigación son:

- Fibra Óptica Planta Externa
- Fibra Óptica Planta Interna
- Transmisión de Video, Datos y Voz
- Velocidades de Comunicación.
- Equipos Ópticos de Interconexión
- Tecnología GPON

1.3.2. Limitación espacial

El diseño de esta red de aplicación de tendido de fibra óptica abarca en su totalidad, el Barrio San Cristóbal, ubicado en la Ciudad de Tarma, departamento de Junín.

1.3.3. Limitaciones temporales

El desarrollo de este trabajo de investigación se desarrolló entre los meses de Enero a Junio del año 2015.

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

¿Se podrá diseñar una red de Fibra Óptica FTTH para el barrio, San Cristóbal?

1.4.2. Problemas específicos

¿Se podrá incluir en acceso a tecnologías de banda ancha a los pobladores del barrio San Cristóbal?

¿Se podrá diseñar una solución que permita aminorar la cantidad de cables necesarios en los postes para brindar tecnologías de transmisión de datos?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Diseñar una Red tipo FTTH para el barrio San Cristóbal de la Ciudad de Tarma, que permita mejorar las comunicaciones permitiendo tecnología Triple Play a través de un cable de fibra óptica hasta los domicilios de la zona.

1.5.2. Objetivos específicos

Diseñar una solución que permita inclusión en temas de tecnología y acceso a Internet de banda ancha a los pobladores del Barrio San Cristóbal.

Diseñar una solución que permita, aminorar la cantidad de cables necesarios para brindar tecnologías de transmisión de datos (Internet, Televisión por cable, Voz).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Título: Telefonía en fibra óptica

- Nombre: Evelyn Adriana García Victorino.
- Institución: Instituto Politécnico Nacional Zacatenco.
- Año: 2009
- Conclusión: La fibra óptica es una buena solución para el cableado a largas distancias. Dado a su capacidad para trasladar la información, no requiere de concentradores y puede mandar información trasatlántica. En comparación, el cableado de cobre sólo soporta información por 90 metros y cuando se sobrepasa esta distancia es cuando caen las redes, tomando como solución practica el uso de fibra óptica.

2.1.2. Título: Diseño de una red FTTH para la renovación de los servicios de las operadoras telefónicas de Guayaquil

- Nombre: Cristian Rudich Rodríguez Zambrano.
- Institución: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Año: 2012.
- Conclusión: La red propuesta considera instalar un solo hilo de fibra a cada usuario desde la central telefónica, calculando el número de empalmes posibles y localizadas las uniones, evitando la realización de empalmes mecánicos y tendidos de fibra, reduciendo las pérdidas ópticas del sistema y aminorando el costo global de las altas de cada usuario.

2.1.3. Título: Diseño de una red de Telecomunicaciones de banda ancha para la región de San Martín

- Nombre: Claudio Bedregal León.
- Institución: Pontificia Universidad Católica.
- Año: 2012.
- Conclusión: La tecnología de la fibra óptica es un excelente medio de transporte de información, más aún mediante los nuevos desarrollos científicos en el campo de la óptica, que le brindan un altísimo factor de escalabilidad a futuro (cada vez se realizan nuevos desarrollos que permiten multiplexar mas y mayores longitudes de onda por un único hilo de fibra óptica). Es por este motivo que se presenta como una alternativa altamente rentable para poder brindar servicios de telecomunicaciones a muchos usuarios mediante una sola infraestructura, adicionalmente de poder soportar de manera cómoda el crecimiento de estos usuarios de cara al futuro.

2.1.4. Título: Diseño de una red de fibra óptica para un sistema de video vigilancia.

- Nombre: Josep Roberto Pico Briones, Luis Stalin Balladares Holguín.
- Institución: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Año: 2010.
- Conclusión: Con la fibra óptica Corning seleccionada se obtiene un ancho de banda superior al que se logra usando los medios de transmisión tradicionales como el cable de par trenzado y cable coaxial. El ancho de banda de cada enlace supera los 360 Mhz, si consideramos que cada señal de video a color en formato de video NTSC necesita de 6 Mhz como ancho de banda se dispone de suficiente capacidad para las 27 cámaras usadas en el diseño y para futuras ampliaciones.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Fibra Óptica

La fibra óptica es un conductor de ondas en forma de filamento, generalmente de vidrio, aunque también puede ser de materiales plásticos. La fibra óptica es capaz de dirigir la luz a lo largo de su longitud usando la reflexión total interna. Normalmente la luz es emitida por un láser o un LED.

La Fibra Óptica es un medio de transmisión físico capaz de brindar velocidades y distancias superiores a las de cualquier otro medio de transmisión (cobre e inalámbricos). Son pequeños filamentos de vidrio ultra puro por el cual se pueden mandar haz de luz de un punto a otro en distancias que van desde 1mt. Hasta N kilómetros.

Existen diferentes tipos de **fibra óptica**, y cada una es para aplicaciones

diferentes, como para uso Médico, de control, de iluminación, de imprenta y el de **Telecomunicaciones**.

2.2.2. FTTH (Fiber To The Home)

Las denominadas redes FTTH son sistemas compuestos fundamentalmente por fibra óptica que llegan hasta el usuario final. Esta arquitectura ya está implementada en muchos países alrededor del mundo, permitiendo anchos de banda suficientes para abastecer múltiples servicios a través de un solo cable de fibra óptica.

La tecnología FTTH es considerada una red que permitirá el funcionamiento de tecnologías futuras capaces de soportar demandas grandes de ancho de banda; no es un secreto que cada vez la aparición de nuevos formatos de video, así como los nuevos servicios en red y sincronización de datos necesitan anchos de banda cada vez más superiores. En la actualidad se viene presentando un proceso global de adaptación de redes de cobre a tecnologías de fibra óptica debido a que presentan mayor confiabilidad en el transporte de datos, así como mayor velocidad en el transporte de datos y ancho de banda.

2.2.3. Características del sistema FTTH

Al ser un sistema relativamente nuevo, compuesto por fibra óptica y equipos ópticos, esta es una red que requiere de una inversión inicial considerable, con lo cual los diseñadores de una red deben buscar caminos para migrar hacia nuevas tecnologías y poder aprovechar todo el ancho de banda que la fibra óptica puede ofrecer y que la tecnología GPON otorga, de manera que se garantice a futuro el uso de la inversión en infraestructura,

evitando cualquier cuello de congestión con el incremento de la demanda. Los sistemas FTTH tienen la capacidad de utilizar sistemas PON la cual extiende el ancho de banda hasta hacerlo casi ilimitado.

Con el uso de los sistemas PON disponibles, se pueden tener en redes FTTH, las siguientes características:

- Alta velocidad (>1Gbps.).
- Alto ancho de banda por usuario (>100 Mbps.).
- Transmisión bidireccional, tasas de datos simétricos.
- Largo alcance (>20 km.).
- Red pasiva.
- Alta capacidad de actualización.
- Manejo del sistema centralizado.

2.2.4. Arquitectura de Redes FTTH

La red de acceso consta de toda serie de elementos y equipamientos necesarios para realizar la conexión entre el proveedor de servicio y el bucle de abonado. El nodo central es el punto en el cual los proveedores de servicios realizan la interconexión con la red de acceso. La red de acceso puede ser implementada de distintas maneras, pero la mejor elección es el medio de acceso óptico. Esta se considera una de las mejores opciones para el futuro debido al inmejorable rendimiento que ofrece la fibra óptica para las redes FTTH, gran ancho de banda, pocas pérdidas, etc. Generalmente una red de acceso óptico está integrada por los siguientes elementos:

- OLT (Optical Line Terminal): Se trata de un dispositivo pasivo situado en el nodo de distribución que sirve como el punto final del proveedor de servicios.

- **ONT (Optical Network Terminal) u ONU (Optical Network Unit):** Es el terminal situado en casa del usuario que termina la fibra óptica y ofrece las interfaces de usuario.
- **ODN (Optical Distribution Nodes) u ORN (Optical Remote Node):** Consiste en un nodo que distribuye la señal desde la centralita hasta los hogares. Consta de splitters, tramos de fibras ópticas, empalmes y conectores.
- **Splitter o Divisor óptico:** Elemento pasivo que se encarga de direccionar la señal proveniente del OLT hasta cada uno de los usuarios.

Para conseguir eficiencia y proporcionar un buen servicio a los usuarios la arquitectura de la red debe ser lo más sencilla posible, con el fin de minimizar los costes de su despliegue y mantenimiento.

Una red óptica pasiva PON, está compuesta por splitters pasivos entre la central y el abonado. En pocas palabras se puede considerar que un sistema PON es una forma limitada de red completamente óptica que no tiene electrónica en su arquitectura, excepto en los extremos de la red, compuesta por “árboles” de vidrio que transmiten señales de longitudes de onda ampliamente espaciadas.

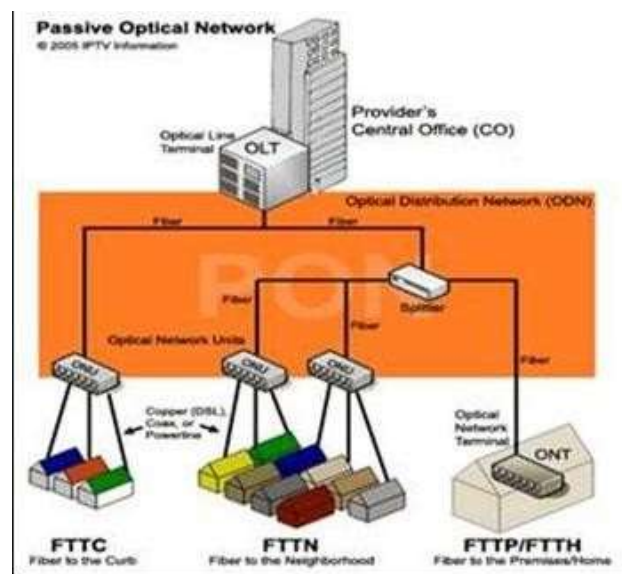


Figura 1: Distribución de una Red Óptica Pasiva

Actualmente las Redes Ópticas Pasivas (PON) son la arquitectura más popular dado que no utiliza electrónica en su red, salvo en sus extremos, por este motivo no necesita de una alimentación eléctrica para operar los componentes pasivos, además de que su mantenimiento es mucho más económico. La arquitectura PON puede alcanzar 20Km, más que suficiente en la mayoría de áreas urbanas donde se debería utilizar redes ópticas. Es por esta razón que se va a analizar las redes Ópticas pasivas PON en esta red FTTH.

Usualmente las instalaciones FTTH se basan en 2 arquitecturas, una de una línea directa desde la planta hasta el hogar en una configuración punto a punto P2P (peer to peer) y otra de arquitectura punto multipunto P2MP, utilizando básicamente splitters en una red óptica pasiva, la cual puede utilizar básicamente Gigabit Ethernet o un Modo de Transferencia Asíncrona ATM.

2.2.4.1. Arquitectura P2P

La Arquitectura Peer to Peer (Punto a Punto), se produce en enlaces entre OLT y ONT's mediante cables de fibra óptica. Este sistema no es muy utilizado, debido a que se necesita una línea de fibra óptica por cada abonado, es decir por cada ONT. Esto ocasiona elevados costos ya que el precio incrementará de acuerdo a la cantidad de abonados (ONT). Usualmente este tipo de redes son utilizadas por empresas, las cuales necesitan conexión de datos entre sus sucursales con determinada capacidad.



Figura 2: Arquitectura P2P

En el tramo entre OLT y ONT, suele utilizarse un sistema bidireccional, esto puede ser posible debido a que para la transmisión se utilizan diferentes tipos de longitud de onda.

2.2.4.2. Arquitectura P2PM

En las redes FTTH, el principal objetivo es conseguir estructuras sencillas y a bajo coste, según se ha visto la arquitectura tipo Peer to Peer no cumple con este requisito. Por este motivo en las redes FTTH, se utiliza la configuración punto a multipunto, comúnmente llamada PON (Passive Optical Network) o Red Óptica Pasiva. Las redes PON usualmente constan de OLT, ONT, ODN y divisores ópticos. El objetivo de esta arquitectura es reducir el costo de la red mediante el uso de elementos pasivos sencillos como por ejemplo los splitter. De esta manera los usuarios o abonados comparten un mismo cable de fibra que llega hasta el splitter, donde la señal es distribuida hacia sus respectivos destinos.

Las redes ópticas pasivas pueden adoptar distintas topologías: estrella, árbol, anillo y bus. La elección de una topología óptima va a depender de la condición geográfica y del emplazamiento de los usuarios.

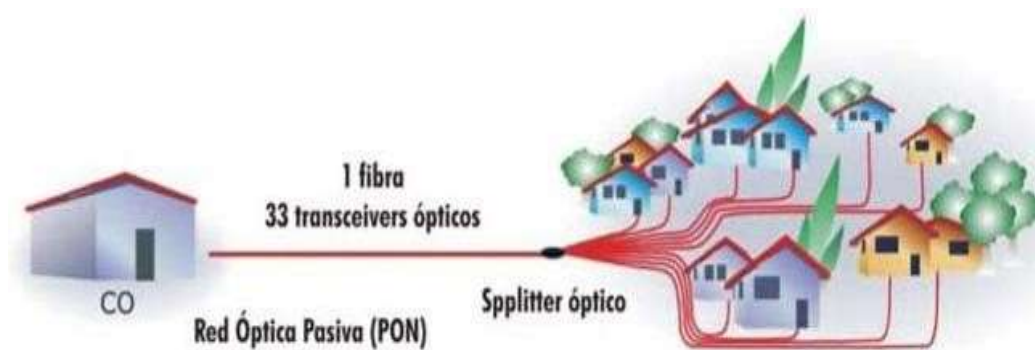


Figura 3: Arquitectura P2PM

2.2.5. Aplicaciones de FTTH

Se ha explicado ya sobre las limitaciones de las redes de comunicaciones en base al cobre, entre ellas como su principal deficiencia, el limitado ancho de banda para la transmisión de información, lo que acarrea en necesidad de mayor cantidad de cableado para transmitir información. A diferencia de ello las redes FTTH, tienen un ancho de banda mucho mayor y son capaces de transmitir en velocidades del orden de Gigabit/seg.

Se puede transmitir hasta distancias de 20 Km con redes ópticas pasivas, de esta manera, la OLT se puede ubicar en un lugar lejano respecto a los abonados, sin perjudicar a los mismos ya que la velocidad del enlace y el ancho de banda quedarán garantizados.

De la capacidad de transporte que brinda la fibra óptica se deriva un análisis diferente para las aplicaciones que se le puede dar a este tipo de red, no solo su topología permite llegar a abonados que se encuentre alejados, sino también que dicha red no necesitaría cambios en su arquitectura por décadas; se incluyen además, como aplicaciones de esta red, a los servicios que puede brindar y para esto se ha considerado a las aplicaciones a las que se puede acceder sin problema y que para otras tecnologías no es posible. Entre las nuevas aplicaciones que se desprenden de las redes FTTH, se tiene Televisión de Alta Definición (HD), Alta Definición Completa (Full HD) y 4K. En la actualidad ya se ofrecen estos servicios, pero se ven limitados por la cantidad de canales que se pueden transmitir debido a que su transmisión se realiza mediante cable de cobre o sistemas satelitales con ancho de banda limitado, con fibra óptica estos problemas serán cosa del pasado.

2.2.6. Ventajas y Desventajas de FTTH

En tiempos anteriores al uso de la fibra óptica, las redes de comunicación utilizaban redes de cobre y enlaces microondas, las compañías de cable obtenían su señal de enlaces satelitales o microondas para gestionar los datos recibidos y redistribuirlos en su red hasta los abonados. Los primeros pasos en introducir la fibra óptica en redes de distribución de telecomunicaciones consistieron en hacer sistemas híbridos con cable coaxial (HFC), sistema que ha sido ampliamente desplegado por las compañías de cable.

El termino fibra hasta el nodo (FTTN) se usa a menudo para lo que esencialmente es una topología HFC y profundizando más aun en el concepto, el nodo HFC se convierte en una unidad óptica de red (ONU) para la línea de suscripción de muy alta velocidad (VDSL).

En la actualidad, el sistema HFC es aun la solución de banda ancha más usada por cable operadores, mientras que líneas asimétricas (ADSL) dominan las redes de telecomunicaciones. Sin embargo, todas estas redes tienen limitaciones en cuanto a los servicios que pueden ofrecer, en su ancho de banda y en la distancia que a la que tienen que estar sus usuarios desde el nodo. Por esta razón, los sistemas DSL han sido competitivamente exitosos pero mayormente cuando se usa para distancias relativamente cortas y tasas de bit bajas cuando comparadas con las capacidades de transporte que puede brindar la fibra óptica. Las líneas de suscripción digital (DSL), han pasado por numerosas generaciones que utilizan un procesamiento de las señales cada vez más complejas para exprimir las tasas de bits y alcanzar distancias considerables con la red tradicional de cobre instalada. Sin embargo, las distancias que se puede alcanzar con DSL son bastantes

modestas, considerando las demandas emergentes, como por ejemplo HDTV. En el caso de sistemas DSLAM se podría alcanzar distancias más altas retroalimentando cada línea con acondicionamiento, sin embargo, esta opción sería prohibitivamente cara para brindar servicios de comunicación y entretenimiento a particulares.

Todas estas limitaciones se resuelven al emplear redes FTTH asegurando un sistema lo suficientemente robusto como para soportar cualquier demanda en el futuro. Utilizando una red óptica pasiva se asegura la disminución de costos en equipos de regeneración de señal y que no se requiera sofisticados sistemas de procesamiento de la señal. Se considera que una red de este tipo podría ser funcional por un periodo considerable de tiempo y no será necesaria ninguna reingeniería en el sistema durante décadas. En la actualidad, las empresas que brindan servicios de telecomunicaciones utilizan redes de tecnología DSL paralelas a las redes de telecomunicaciones ya existentes para solventar la demanda actual del servicio, sin embargo, estas soluciones son parches ante deficiencias de redes de generaciones anteriores que no solventaran la demanda que se tendrá en el futuro inmediato. Esto pone a las redes FTTH en una categoría diferente a las redes DSL y sistemas de cable en las cuales, la electrónica sensible de protocolos interviene entre la cabecera y el suscriptor.

Una gran ventaja de la fibra óptica y sobre todo en el empleo de ésta en redes de última milla, es el espacio disponible y escalable para crecer en ancho de banda y la libertad de permitir “*crosstalk*” en la red. La naturaleza pasiva de una red FTTH con una arquitectura PON y el hecho que la electrónica se encuentra únicamente en los extremos de la red, significa que

el mantenimiento y reparación de estos sistemas se pueden realizar mucho más fácilmente y a menores costos, además de disminuir los daños en los equipos. Los operadores que ya han instalado versiones tempranas de tecnología PON (como redes BPON), tienen la ventaja sobre otros operadores que han instalado sistemas “*legacy*”, pues tan pronto como su red no abastezca a la demanda de datos, podrán actualizar su sistema a uno basado en ATM como el GPON o a uno basado en Ethernet, EPON, únicamente descargando remotamente software a todos sus ONUs desde la central OLT.

2.2.7. Tecnologías PON

La tecnología PON es una arquitectura ya madura que ha pasado por varias evoluciones con estándares de calidad y operación bien delimitados por la ITU y la IEEE en algunos casos. La tecnología se divide básicamente en dos, la basada en ATM y la que se basa en Ethernet. La tecnología más utilizada en la actualidad es la GPON, que es el resultado de la evolución de redes PON que se manejan con ATM.

Las redes de fibra óptica pasivas utilizadas en su totalidad, incluyendo la última milla, toma impulso gracias a la reducción de la fibra óptica y el vertiginoso crecimiento de la demanda de datos en el área residencial.

Se debe tener en cuenta los componentes que en toda red PON van a existir.

- OAN (“*Optical Access Network*”), Red de Acceso Óptico, es el conjunto de enlaces de acceso.
- OLT (“*Optical Line Termination*”), Terminación de Línea Óptica, brinda la interfaz de red entre la OAN y permite la conexión a una o varias ODN.
- ODN (“*Optical Distribution Network*”), Red de Distribución Óptica, es la

encargada de brindar comunicación entre la OLT y el usuario.

- Splitter o divisor óptico pasivo, el cual se encarga de dividir la señal óptica y retransmitirla sin necesidad de alimentación.
- ONU (“*Optical Network Unit*”), Unidad de Red Óptica es la que actúa como vínculo entre usuario y la OAN, va conectada a la ODN.

Todos estos elementos en conjunto forman una red Óptica Pasiva PON. Se puede decir que la OLT es la interface entre la red PON y el Backbone de la red, la ONT es la interfaz de servicio al usuario.

2.2.7.1. Arquitectura APON

A-PON o ATM-PON (Redes Ópticas Pasivas ATM) está definida en la revisión del estándar de la ITU-T G.983, el cual fue el primer estándar desarrollado para las redes PON. Las especificaciones iniciales definidas para las redes PON fueron hechas por el comité FSAN (Full Service Access Network), el cual utiliza el estándar ATM como protocolo de señalización de la capa 2 (Enlace de Datos). Los sistemas APON usan el protocolo ATM como portador. A-PON se adecua a distintas arquitecturas de redes de acceso, como, FTTH (Fibra hasta la vivienda), FTTB/C (fibra al edificio/a la acometida).

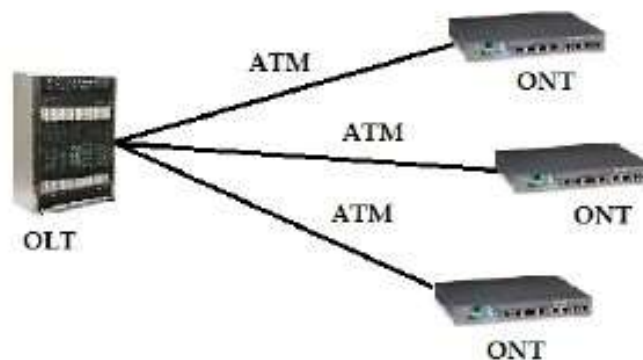


Figura 4: Arquitectura APON

2.2.7.2. Arquitectura BPON (Broadband PON)

Esta tecnología de las redes PON surgió como una mejora de la tecnología APON para integrar y obtener acceso a más servicios como Ethernet, distribución de video, VPL, y multiplexación por longitud de onda (WDM), logrando un mayor ancho de banda, entre otras mejoras.

Ya que se trata de una mejora de la tecnología APON, también posee sus características. Al igual que APON utiliza el protocolo ATM, pero tiene la diferencia que puede dar soporte a otros estándares de banda ancha. En su primera versión, las redes BPON estaban definidas bajo una tasa fija de transmisión de 155 Mbps, tanto para el canal ascendente como para el descendente.

Algunas de sus características más importantes son:

- Al igual que APON sus celdas pueden ser de datos o de PLOAM, celdas que contienen información para la sincronización, control de errores, seguridad, mantenimiento y distribución del ancho de banda.
- Admiten un ratio máximo de 32 divisores por OLT, y cada divisor admite un máximo de 64 salidas a usuarios (ONT). Esto supone un total de 2048 usuarios posibles por cada OLT.
- La máxima longitud de fibra que puede haber entre un OLT y un ONT es de 20 km.
- Se utiliza fibra monomodo estándar según la norma ITU-T G.652.
- El OLT es capaz de calcular la distancia que hay hasta cada ONT. El OLT envía un paquete a un ONT determinado y mide el retardo de ida y vuelta de dicho paquete. Esto supone una mejora del sistema en cuanto a transmisión, ya que con esto se evitan las colisiones entre los paquetes

procedentes de distintos ONT.

2.2.7.3. Tecnologías GPON

Gigabit PON es otra tecnología perteneciente a la arquitectura PON. Al día de hoy, se trata del estándar más avanzado sobre el que se sigue aun trabajando. Cabe destacar que es una evolución de las redes BPON, por lo cual, al igual que este, se basa en el protocolo ATM. Fue creado con el principal objetivo de poder ofrecer un ancho de banda mucho más alto que sus predecesores, y por tanto lograr una mayor eficiencia para el transporte de servicios de hoy en día.

La característica más importante de GPON, es que permite la transmisión de información encapsulada bajo varias tecnologías. Esto es gracias a la introducción de un nuevo método de encapsulamiento, GEM (GPON Encapsulation Method), el cual permite acomodar los servicios de ATM (al igual que pasaba en BPON, pero de una manera más eficiente), Ethernet y TDM en la red.

2.2.7.3.1. Características de GPON

- Al igual que las demás arquitecturas utiliza la fibra monomodo estándar (ITU- T G.652).
- Las velocidades de transmisión varían desde los 150Mbps hasta los 2Gbps:
 - Downstream: 2488Mbps
 - Upstream: 1244Mbps
- La máxima relación de división óptica es mayor que sus predecesoras, es de 64.
- La longitud de la fibra está comprendida entre los 10 y los 20 km.

- Se añaden más herramientas de seguridad. Se utiliza cifrado AES para los datos de usuario.
- La trama de GPON, GEM tiene la siguiente estructura.

Al igual que las arquitecturas anteriores, APON y BPON, está estandarizada por la ITU:

- G.984.1: Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales (3/2008),
- G.984.2: Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos (2003).
- G.984.3: Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Especificación de la capa de convergencia de transmisión (2004).
- G.984.4: Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica (2004).
- G.984.5: Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Banda de ampliación (2007).
- G.984.6: Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Extensión del alcance (2008).
- G.984.7: Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Largo alcance.

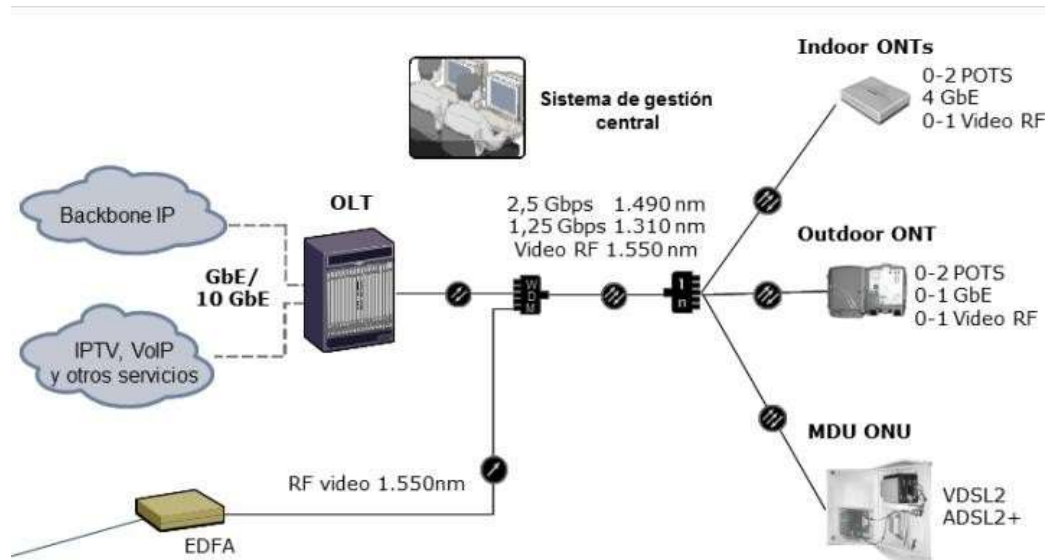


Figura 5: Red GPON

En una red GPON, se asigna una longitud de onda para el tráfico de datos (Internet, VoIP, IPTV, etc.) downstream (1.490 nm) y otra para el tráfico upstream (1.310 nm). Además, a través del uso de WDM (Wavelength Division Multiplexing), se asigna una tercera longitud de onda (1.550 nm) que está dedicada para el broadcast de video RF broadcast analógico, broadcast digital, broadcast digital HDTV y video bajo demanda.

De este modo, el vídeo/TV puede ser ofrecido mediante dos métodos distintos simultáneamente: RF (radio frecuencia) e IPTV. Mediante RF las operadoras de cable pueden hacer una migración gradual hacia IPTV. En este caso, las ONT dispondrán de una salida para vídeo RF coaxial que irá conectada al STB tradicional. Con IPTV la señal de vídeo, que es transformada por la cabecera en una cadena de datos IP se transmite sobre el mismo enlace IP como datos para acceso a Internet de banda ancha. El STB conectado mediante Gigabit Ethernet al ONT, convertirá de nuevo la cadena de datos en una señal de vídeo. Mediante IPTV y GPON, cuyos equipos incorporan capacidades de QoS y multicast IP avanzadas,

los operadores puede ofrecer varios canales de alta calidad de imagen y sonido, incluidos HDTV, así como proporcionar servicios interactivos y personalizados, lo cual no es factible con vídeo RF.

Las velocidades y los parámetros de pérdidas en el trayecto óptico están definidas en la recomendación ITU-T G.982 y se repiten en la especificación ITU-T G.984.2.

Entre los tipos de transmisión en redes GPON tenemos transmisión bidireccional usando Multiplexación por división de longitud de onda (WDM) en el caso de transmisión en una sola fibra o unidireccional en dos fibras. El estándar ITU-T G.982 recomienda que en sentido descendente el intervalo de longitudes de onda de trabajo en sistemas de una sola fibra será 1480 nm-1500 nm. Para el caso de longitudes de onda de trabajo en sentido descendente en los sistemas de dos fibras será de 1260-1360 nm.

Así también es estándar ITU-T G984.2 en su sección 8.2.8.12 define los distintos parámetros de la capa dependiente del medio físico y de las interfaces ópticas en sentido ascendente y descendente dando la atenuación permitida entre el OLT y la ONU, incluye también pérdidas en splitters, conectores, atenuadores ópticos y demás.

Tabla 1: Parámetros de la capa dependiente del medio físico de la ODN

Elementos	Unidad	Especificación
Gama de Atenuación (Rec. UIT-T G.982)	dB	Clase A: 5 – 20
		Clase B: 10 – 25
		Clase C: 15 – 30

Tabla 2: Parámetros de interfaz óptica 2488 Mbit/s sentido descendente para una sola fibra

Elementos	Unidad	Especificación		
		A	B	C
Clase de ODN		A	B	C
Potencia media inyectada MIN		0	+5	+3
Potencia media inyectada MAX		+4	+9	+7

Tabla 3: Parámetros de interfaz óptica 1244 Mbit/s sentido ascendente para una sola fibra

Elementos	Unidad	Especificación		
		A	B	C
Clase de ODN		A	B	C
Potencia media inyectada MIN		-3	-2	+2
Potencia media inyectada MAX		+2	+3	+7

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. OLT

Es el elemento activo situado en la central del proveedor. De él parte el cable principal de fibra hacia los usuarios y es él mismo el que se encarga de gestionar el tráfico hacia los usuarios o proveniente de ellos, es decir, realiza funciones de router para poder ofrecer todos los servicios demandados por los usuarios. Cada OLT suele tener la suficiente capacidad para proporcionar un servicio a cientos de usuarios. Además, actúa de puente con el resto de redes externas, permitiendo el tráfico de datos con el exterior. Algunos de los objetivos de los OLT son realizar las funciones de control en la red de

distribución: control de las potencias emitidas y recibidas, corrección de errores e interleaving.

2.3.2. PSTN

(public switched telephone network) o RTB (red telefónica básica), para los servicios de voz; el OLT se conecta a través de un router de voz o un gateway de voz mediante interfaz correspondiente MGCP (media Gateway controller protocol) o protocolo de controlador gateway de medios de comunicación. Internet, para los servicios de datos o VoIP; el OLT se conecta a través de un router o gateway IP/ATM de voz, mediante encapsulamiento IP sobre ATM. Video broadcast o VoD (video on demand), para los servicios de videodifusión; el OLT se conecta directamente, o bien indirectamente a través de un router o gateway ATM.

2.3.3. ONT

Son los elementos encargados de recibir y filtrar la información destinada a un usuario determinado procedente de un OLT. Normalmente se encuentran instalados en los hogares junto a la roseta óptica correspondiente. Existen dos tipos de ONT según la función que desempeñen: H-OLT: también denominado ONT del hogar (Home ONT), instalado directamente dentro de la vivienda para otorgar servicios a un usuario en particular. Instalado en redes FTTH.

2.3.4. B-ONT

ONT de edificio (Building ONT), preparado para ser instalado en los R.I.T.I. o cuartos de comunicaciones de los edificios privados o empresas, y que se encuentran capacitados para dar servicio a varios usuarios conectados a él a través de un repartidor. Este tipo de ONT se instala en redes FTTB. El filtrado

de la información recibida en el ONT, se lleva a cabo a nivel de protocolo Ethernet, a través de las denominadas tramas PEM (PON encapsulation method). La trama, consta de tres campos. Cabecera (header); este campo contiene información sobre sincronización de la trama. CRC; que permite conocer si la información enviada ha llegado correctamente y sin errores a su destino Carga útil (Payload).

2.3.5. ATM

Es una técnica de “switchero” usada en redes de telecomunicaciones. Esta usa multiplexación por división de tiempo asíncrona y codifica los datos en pequeñas celdas de tamaño fijo, esto difiere de redes como las de internet o Ethernet LAN que usan tramas o paquetes de tamaños variables. Usa un modelo de conexión orientado, en el cual un circuito virtual debe ser establecido entre extremos donde los datos van a ser transmitidos para solo entonces comenzar con la transmisión. Este tipo de transferencia ya no está dentro de las recomendaciones de la ITU dado que se usa el método de encapsulación GEM.

2.3.6. Wave Division Multiplexing

Se trata de una tecnología que multiplexa varias señales ópticas portadoras en una sola fibra usando diferentes longitudes de onda (colores). WDM permite tener comunicaciones bidireccionales sobre la misma fibra y aumenta la capacidad de transporte de la fibra.

Un sistema WDM utiliza un multiplexador en el transmisor para unir señales y un demultiplexor en el extremo del receptor para dividir las, los sistemas WDM son utilizados en arquitecturas tanto activas como pasivas de fibra óptica.

2.3.7. ITU-T G.652

En esta sección se detalla la fibra monomodo, debe tener una longitud de onda de dispersión nula situada en los 1310nm, siendo ésta la región óptima de utilización y pudiendo utilizar la región de los 1550nm donde la fibra ya no será optimizada. Se pueden tener aplicaciones analógicas o digitales.

2.3.8. ITU-T G.653

Esta sección da las características de la fibra con dispersión desplazada, con una longitud de onda de dispersión nula nominal cercana a los 1550nm y con un coeficiente de dispersión que aumenta monótonicamente junto con la longitud de onda. También se puede utilizar fuera de su ventana óptima en los 1310nm. Se deben efectuar arreglos si se quiere realizar una transmisión a longitudes de onda superiores que lleguen hasta los 1625nm.

2.3.9. ITU-T G.654

Aquí se detalla la fibra monomodo con corte desplazado cuya dispersión nula está situada en 1300nm donde su menor atenuación y la longitud de onda de corte desplazado está en los 1550nm. Se utiliza en sistemas de transmisión de larga distancia terrestres o submarinos digitales por la baja atenuación que presentan.

2.3.10. ITU-T G.655

Fibra monomodo con dispersión desplazada No Nula, donde su dispersión cromática es mayor o diferente de Cero. Se utiliza la ventana 3 de 1550nm con lo cual se elimina el efecto no lineal generado por una mezcla de cuatro ondas, que puede ser perjudicial en DWDM. Se puede utilizar de forma óptima entre 1530nm y 1565nm con una tolerancia menor o igual a 1625nm.

CAPÍTULO III: ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA FTTH PARA BRINDAR SERVICIO DE VOZ, VIDEO Y DATOS PARA EL BARRIO SAN CRISTÓBAL, UBICADO EN LA CIUDAD DE TARMA, DEPARTAMENTO DE JUNÍN

3.1. Análisis de solución

Debido a la problemática planteada, se sabe que en el barrio San Cristóbal de Tarma, no se cuenta con tecnología de Fibra Óptica, lo cual limita considerablemente la calidad de los servicios de comunicaciones actualmente disponibles. Así también el exceso de cables en los postes que abastece los diferentes servicios, genera sobre costos y deficiente servicio. Por este motivo, a continuación se planteará una solución tipo FTTH en la que a través de un único cable, se podrá transmitir internet de banda ancha (4 Mbps Bajada, 2Mbps Subida), acceso telefónico (90 abonados) y televisión por cable (40 Canales de transmisión normal y 10 Canales HD).

El diseño será realizado sectorizando en 4 partes el barrio de San Cristóbal, de manera que se pueda abastecer hasta 24 abonados por sector; en la actualidad, el barrio San Cristóbal cuenta con 90 posibles beneficiarios incluidos dos colegios. Según el diseño que se va a proponer, se podrá abastecer sin ningún problema en su totalidad a todos los beneficiarios. Así también en el diseño se considera futuros crecimientos los cuales se podrán realizar cambiando la configuración de los splitter. Se demostrará que el ancho de banda del diseño es capaz de soportar todas las tecnologías de comunicación arriba descritas.

3.2. Construcción de diseño de Red FTTH

En la siguiente etapa del trabajo se explicaran los pasos realizados necesarios para el diseño de una red FTTH basados en los requerimientos estándares que exige la ITU, para diseño y construcción de redes FTTH.

3.2.1. Dimensionamiento de la Red

La configuración de una red FTTH, como se ha visto; tiene un alcance físico Máximo de 20km de distancia, se prevé que en el futuro este límite pueda ser extendido con el desarrollo de nuevos componentes ópticos; sin embargo como se verá a continuación, éste análisis no será necesario puesto que las distancias sobre las cuales va a estar tendida nuestra red no son ni cercanas al máximo de 20km previsto para estas redes.

Para el dimensionamiento de la red se deberán tener en cuenta las siguientes premisas:

- El presente estudio tiene como finalidad el diseñar la red física FTTH para el enlace de fibra óptica entre la OLT GPON y los equipos del usuario ONT.
- La red de fibra óptica será en su totalidad de tipo aéreo debido a que se ha

considerado tendidos subterráneos ya instalados en la obra (Agua potable, alcantarillado, sumideros, domiciliarias) y que están dispuestos de forma tal que dificultaría una eventual implementación real de esta red, además que se tendría que romper las veredas con este fin.

- Se realizara una sectorización de la urbanización, considerando la capacidad por tarjeta GPON de la OLT, los splitters utilizados y la distribución de los lotes, se deberá tener puertos libres para una posible expansión de la demanda de puertos.
- Se tomará la postería ya planificada para el tendido eléctrico, colocación de splitters, mufas, tendido de fibra óptica y cualquier otro dispositivo que se requiera.

3.2.2. Punto Origen de la Red FTTH

En el presente diseño, el origen del tendido de fibra óptica se considera en la OLT ubicada en la Plaza de Armas de Tarma. La OLT fue ubicada en este punto de manera que pueda abastecer a diferentes redes FTTH que se instalen en los diferentes barrios de Tarma. Además de estar en el Centro de la Ciudad de Tarma.



Figura 6: OLT ubicado Frente a la Plaza de Armas de Tarma

3.2.3. Punto Destino de Fibra de Trayecto

El trayecto de Fibra óptica continuará hasta el Nodo de distribución se le denominará Nodo “San Cristóbal”, este se encontrará ubicado en el C.N. Ángela Moreno Gálvez. Desde este punto saldrán fibras monomodo de las cuales alimentarán cada uno de los 4 sectores en los cuales se ha dividido el barrio San Cristóbal.



Figura 7: Ubicación de ODF de distribución del Barrio San Cristóbal

3.2.4. Trayecto de Fibra Óptica

Se utilizará fibra óptica monomodo ADSS de 12 hilos, con span de 200 mts. La instalación de la misma se realizará en la postería existente de alumbrado público. La distancia entre la OLT “Plaza de Armas” y el ODF de distribución “San Cristobal” es de 850 mts. Para efectos de aproximación se considerará la distancia de 1 Km.

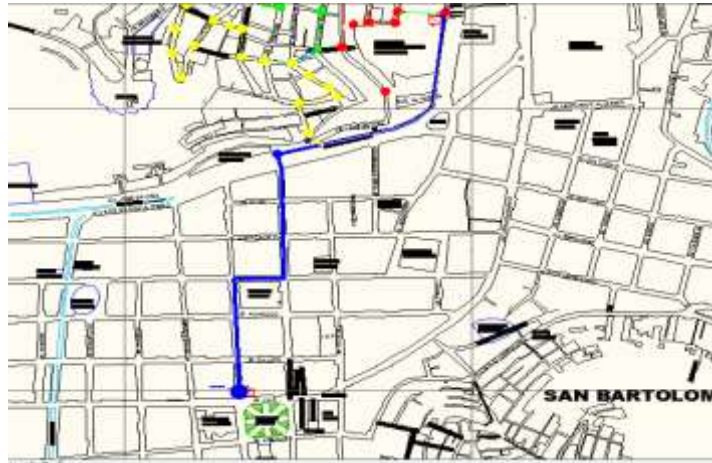


Figura 8: Tendido de Fibra óptica desde OLT a ODF

3.2.5. Topología de Red Óptica

La topología que se utilizará en este diseño es una topología tipo árbol, la ramificación primaria consta de una línea óptica de 12 hilos que va desde la OLT “Plaza de Armas” hasta el nodo San Cristóbal” ubicado en el Colegio Ángela Moreno Gálvez. La ramificación secundaria va desde el nodo hacia los diferentes sectores en los que se ha dividido el barrio de San Cristóbal.

Se ha cuidado que las distancias no sobrepasen las recomendaciones de la UIT La OLT utilizada en el Head-End tiene cabida para 22 tarjetas PON; pudiendo en total abastecer 704 suscriptores si se utilizan tarjetas para 32 usuarios cada una, sin embargo; se planea utilizar en el primer ramal un splitter principal con una relación de 1:4 y en el ramal secundario y final un splitter con relación de 1:8, dejando, como ya se ha mencionado; 2 puertos de reserva con lo que se tendrá un total de 24 usuarios en cada uno de los sectores a los que se abastecerá el servicio.

3.2.6. Sectorización y distribución de la Red FTTH

La sectorización se realiza teniendo en cuenta la disponibilidad de 32 suscriptores por cada salida GPON de fibra óptica contemplada en la OLT a

utilizar, como se mencionó ésta se ubicará en la Plaza de Armas de Tarma. La unidad de terminación óptica ODF se plantea ubicarla en la Comunidad Educativa Nacional **Ángela Moreno de Gálvez**, donde se ubica el NODO conectado al backbone óptico, de este se bifurcan N ramales principales, que dependerán del número de sectores a definirse en los planos de la lotización. Cada ramal principal tendrá un splitter con relación 1:4, y otro ramal secundario con una relación de división de 1:8, por cada splitter; se pretende dejar 2 conexiones de reserva de cada splitter secundario, quedando entonces 6 usuarios y 2 puertos de reserva.

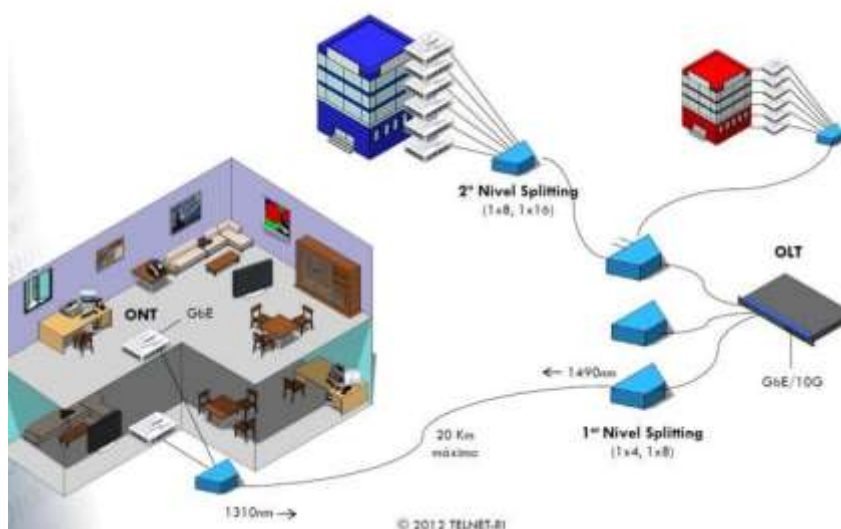


Figura 9: Distribución de Splitter Óptico desde OLT

3.2.7. Delimitación y Discriminación de componentes de cada Sector

Se han establecido 4 sectores principales para los que se han destinado un hilo de fibra a cada uno. De aquí se derivan 4 subsectores los cuales van a servir a seis usuarios en cada subsector. En total se beneficiarán 24 abonados por cada sector. En base al estudio geográfico, se sabe que en cada sector hay menos de 24 predios habitados, con ello sabemos que el 100% de los habitantes serán beneficiados.

Jirones Arellano Gálvez con Jirón los Bosques. Aquí está ubicado el poste 1, en total hay 12 postes; el poste final es el de la calle 29, se contabilizan 22 usuarios para ésta zona.

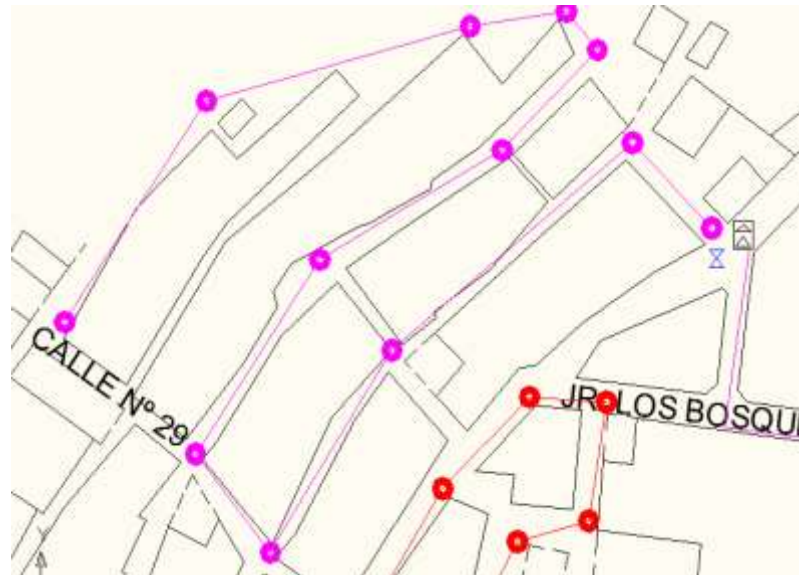


Figura 11: Mapa de Sector 2

3.2.7.3. Sector 3

Comprende la trama 3, definido en la planimetría con postes color verde; desde el sur con la Calle los Tulipanes, por el este el Jirón Arellano Gálvez, por el norte con la calle N° 14 y por el oeste con los límites del barrio San Cristobal.

Los tramos secundarios salen del splitter ubicado en la intersección de los Jirones Román Arellano Gálvez y Los Tulipanes. En este punto se encuentra el poste 1, teniendo un total de 12 postes, el poste final se ubica en el extremo oeste del Barrio San Cristobal. En este punto se instalarán 24 abonados.

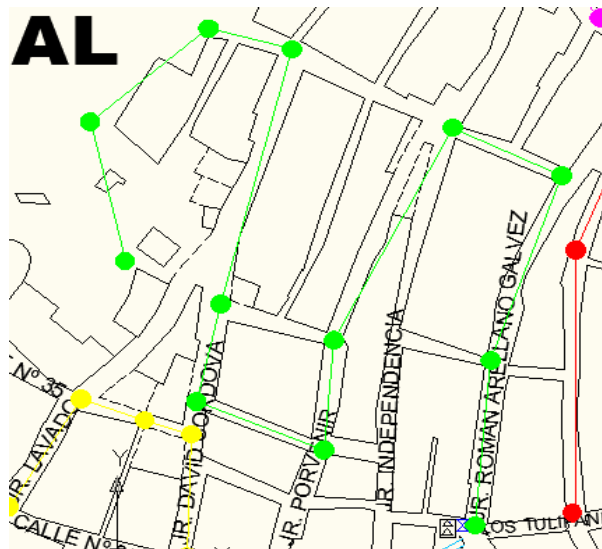


Figura 12: Mapa Sector 3

3.2.7.4. Sector 4

La trama 4, definida en la planimetría con postes de color amarillo; desde el sur con la Av. José Gálvez, por el norte con la calle Los Tulipanes, por el este con el Jirón Román Arellano y por el oeste con el Jirón el Progreso.

Todos los sectores, tienen 24 acometidas en total con todos sus ramales secundarios; de las cuales se tiene un splitter primario con una relación 1:4 y 4 splitters secundarios con relación 1:8, dejando 2 de reserva. El poste 1, se encuentra ubicado en el Jirón José Gálvez, el final se encuentra en el Jirón el Progreso, incluyendo en su alcance la Escuela San Cristobal.



Figura 13: Mapa de Sector 4

3.2.8. Dimensionamiento de Equipos

Con las consideraciones hechas líneas arriba, se tienen las siguientes cantidades de splitters por nodos.

Tabla 4: Relación de Spliter y Usuarios Reales Sector 1

Sector 1		
Relación	Cantidad de Splitters	ONTs por sub-Sector
1:4	1	
1:8	4	6
		TOTAL: 24 ONTs
		Usuarios Reales: 20

En el Sector 1 según el diseño estandarizado, se puede instalar hasta 24 ONTs, el Sector 1 cuenta con 20 puntos reales a los cuales se les deberá instalar las ONTs, quedando aún a disposición 4 puntos más.

Tabla 5: Relación de Spliter y Usuarios Reales Sector 2

Sector 2		
Relación	Cantidad de Splitters	ONTs por sub-Sector
1:4	1	
1:8	4	6
		TOTAL: 24 ONTs
		Usuarios Reales: 22

En el Sector 2 según el diseño estandarizado, se puede instalar hasta 24 ONTs. El Sector 2 cuenta con 22 puntos reales a los cuales se les deberá instalar las ONTs, quedando aún a disposición 2 puntos más.

Tabla 6: Relación de Spliter y Usuarios Reales Sector 3

Sector 3		
Relación	Cantidad de Splitters	ONTs por sub-Sector
1:4	1	
1:8	4	6
		TOTAL: 24 ONTs
		Usuarios Reales: 24

En el Sector 3 según el diseño estandarizado, se puede instalar hasta 24 ONTs. El Sector 3 cuenta con 24 puntos reales a los cuales se les deberá instalar las ONTs, de momento no quedando disposición para más puntos, a pesar de ello el diseño soporta futuras extensiones.

Tabla 7: Relación de Spliter y Usuarios Reales Sector 4

Sector 4		
Relación	Cantidad de Splitters	ONTs por sub-Sector
1:4	1	
1:8	4	6
		TOTAL: 24 ONTs
		Usuarios Reales: 24

En el Sector 4 según el diseño estandarizado, se puede instalar hasta 24 ONTs. El Sector 4 cuenta con 24 puntos reales a los cuales se les deberá instalar las ONTs, de momento no quedando disposición para más puntos, a pesar de ello el diseño soporta futuras extensiones

3.2.9. Cálculos para el enlace

Definidos el número de conectores y splitters que van a aportar atenuación, a continuación se describen algunos puntos importantes dentro de los cálculos de la red.

3.2.10. Ventanas de transmisión para la fibra óptica

La información de desplaza a través de la fibra óptica en forma de haz de luz con una longitud de onda específica; dependiendo de si el tipo de fibra es monomodo o multimodo se encontrará dentro de una determinada ventana de transmisión óptica.

Las ventanas de transmisión se utilizan para describir la propiedad de cada segmento de luz dentro del espectro lumínico donde ésta se encuentre, de ésta característica también va a depender la pérdida de luz en el trayecto, por lo cual se debe definir las ventanas en las cuales la fibra óptica puede trabajar y la ventana en la cual los equipos que se utilizan en redes GPON trabajan.

Tabla 8: Tabla de Transmisión para cada Ventana

Ventana	Rango de Longitud de Onda	L
Primera	800 nm a 900 nm	850 nm
Segunda	1250 nm a 1350 nm	1310 nm
Tercera	1500 nm a 1600 nm	1550 nm

En el presente proyecto se trabajará en la tercera ventana de transmisión 1550nm, para los tres servicios de esta forma podremos tener un solo tipo de cable y transmisión para todos los servicios que se quiera brindar a los abonados.

3.2.11. Cálculo del Budget óptico

Actualmente, el rango de operación de las ONTs domiciliarias, se encuentra en el rango de operación óptima de entre -12 dB y -28 dB según las especificaciones del fabricante. Un rango menor produce saturación de potencia por lo que el equipo es incapaz de sincronizar con la OLT que provee sus servicios; y un rango mayor, produce pérdida de paquetes, lo que se traduce en pixelación para el caso de servicios de TV. ***Es por ello que al diseñar la red es necesario que la potencia final que llega al cliente esté entre los rangos mencionados.***



Figura 14: ONT domiciliaria Zhone

3.2.12. Atenuación de enlace

Se define la atenuación de una señal como la pérdida de potencia de ésta al desplazarse por un medio de transmisión, en este caso la fibra óptica.

Esta pérdida de la potencia no se expresa como una unidad lineal, sino de manera logarítmica como Decibelios [dB] y Decibelios por Kilometro [dB/km]; dentro de las consideraciones que se tiene al momento de calcular la atenuación de la fibra óptica, están los intrínsecos como la composición del sílice de la fibra óptica que se está manejando, las impurezas que contiene y demás aspectos del tipo de fibra específica que se utilizara. Las extrínsecas por otra parte consideran aspectos externos a la fibra en sí, como empalmes,

conectores, splitters y demás elementos que estén entre el tendido de la fibra óptica y no constituyan un elemento regenerador de la señal, además de curvaturas exageradas de la fibra y variaciones de temperatura.

3.2.12.1. Coeficiente de atenuación

Las normas ITU definen claramente que se debe especificar un valor máximo para la atenuación que tendrá para una o más longitudes, sin que estas rebasen el límite recomendado por esta misma organización. A continuación se presenta el cálculo donde se toma en consideración los puntos previamente citados en el presente capítulo, considerando las recomendaciones ITU y las atenuaciones de los diferentes elementos de la red.

3.2.12.2. Cálculo de Pérdidas en Línea de Fibra Óptica

Tomando como base la recomendación ITU-T G.652 para un enlace de fibra óptica, en el caso de tratarse de fibra óptica de tipo monomodo, la ecuación para el cálculo de la atenuación se deberá expresar de la siguiente manera:

$$A(\text{db}) = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y \quad (1)$$

Donde:

- α : Coeficiente de atenuación típico de la fibra.
- α_s : Atenuación media por empalme
- α_c : Atenuación media de conectores de línea
- x : Números de empalme por enlace
- y : Número de conectores de línea (en caso existan)

En esta ecuación no se consideran varios parámetros que dan lugar a atenuaciones de agentes externos a la fibra, como son empalmes

suplementarios, envejecimiento entre otras pérdidas, además de las generadas por equipos al momento de intervenir en la red. Las pérdidas debido a la absorción de los rayos ultravioletas e infrarrojos se despreciarán para casos en los que la longitud de onda sea mayor a 100nm como es el caso de estudio.

3.2.12.3. Análisis de Pérdidas

De la planilla de la figura anterior, se desprende lo siguiente:

- **Pérdida Enfrentador Tarjeta OLT:** Corresponde a la pérdida que se presenta entre la FO y la tarjeta del equipo OLT que alimentará la red.

En este caso la pérdida estimada corresponde a -0,5 dB.

- **Pérdida Enfrentador ODF:** Corresponde a la pérdida de potencia en el extremo de fibra óptica, la cual irá conectada a la fibra óptica de transporte (red primaria).

En este caso la pérdida estimada corresponde a -0,5 dB.

- ***Pérdida Cable de Fibra Primario:*** *Corresponde a la pérdida de potencia por la sección del cable; ésta pérdida, depende directamente de la distancia del cable de fibra óptica. La atenuación de fibra óptica para transmisiones monomodo utilizando cables de fibra óptica de la marca Corning de 12 hilos es de 0,3 dB/km. Esta Sección está comprendida entre la OLT Primaria y el Nudo de Distribución ubicado en el CN. “Ángela Moreno Gálvez”. Utilizando las variables de la fórmula (4) se calcula:*

$$A(\text{db}) = \alpha L$$

$$A(\text{db}) = (0.3)\text{dB} \times 1\text{Km} \quad A(\text{db}) = 0.3(\text{dB.Km}) \quad (2)$$

- **Pérdida Cable de Fibra Secundario:** Corresponde a la pérdida de potencia por la sección del cable secundario; la extensión de la misma va desde el nodo de Distribución a cada uno de los postes que inician el tendido en cada sector. Para dicho tramo se utilizará cable de Fibra óptica de 4 hilos marca Corning, cuya atenuación es de 0.25 dB/km Cada una de las distancias se ha promediado para efectos prácticos en 350 mts Utilizando las variables de la fórmula (4), se calcula:

$$A(\text{db}) = 4\alpha L$$

$$A(\text{db}) = 4 \times (0.25) \text{dB} \times 0.35 \text{Km} \quad A(\text{db}) = 0.35(\text{dB.Km}) \quad (3)$$

- **Pérdida Cable de Fibra Terciario:** Corresponde a la pérdida de potencia por la sección del cable terciario; la extensión de la misma va desde el poste 1 hasta el poste final en cada sector. Para dicho tramos se utilizará cable de fibra óptica marca Corning de 36 hilos, la cual tiene una atenuación de 0.3 dB/km. Cada una de las distancias se ha promediado para efectos prácticos en 800 mts Utilizando las variables de la fórmula (4), se calcula:

$$A(\text{db}) = 4\alpha L$$

$$A(\text{db}) = 4 \times (0.3) \text{dB} \times 0.8 \text{Km} \quad A(\text{db}) = 0.96(\text{dB.Km}) \quad (4)$$

Sumando resultado (2), (3) y (4), se obtiene pérdida estimada de -1.68 dB.

- **Pérdida Empalmes de Red:** Corresponde a la pérdida de cada uno de los empalmes por fusión de la red FTTH, en el cual se considerará como máximo un valor de -0,15 dB por cada empalme realizado.

Tabla 9: Detalle de Empalmes a realizarse desde OLT a Usuario Final

N°	Ubicación	Elemento Fusionado	Comentario
1	Línea primaria OLT-ODF	(Pigtail de conexión)	Punto Inicial Cable Primario 12 Hilos
2	Línea Primaria Nodo-ODF	(Pigtail de Conexión)	Punto Final Cable Primario 12 Hilos
3	Línea Secundaria Nodo- Poste 1 Sector N	(Pigtail de Conexión)	Punto Inicial Cable Secundario 4 Hilos
4	Caja de empalmes Poste 1- Línea Terciaria	(Pigtail de Conexión)	Punto Inicial Cable Terciario
5	Línea Terciaria – Caja CDA	(Pigtail de Conexión)	Caja CDA
6	Caja CDA – Cable Drop Acometida	(Pigtail de Conexión)	Acometida Final Usuario

En total se contabilizan 6 empalmes. Utilizando las variables de la fórmula (4), se calcula:

$$A(\text{db}) = \alpha x$$

$$A(\text{db}) = (0.15)\text{dB} \times 6$$

$$A(\text{db}) = 0.9(\text{dB})$$

En este caso la pérdida estimada corresponde a -0,9 dB.

- **Pérdida Conectores Nodo ODF – Usuario Final:** Cada elemento de interconexión deberá llevar por lo menos 2 conectores uno de entrada y otro de salida de la señal, para este diseño se considerarán conectores tipo SC, con pulido PC, cuya perdida estimada es 0.5 dB c/u.

N°	Ubicación	Elemento de Conexión	Comentario
1	Línea Primaria Nodo-ODF	(Pigtail – Tarjeta ODF)	Considerar 2 Conectores
2	Línea Secundaria Nodo- Poste 1 Sector N	(Pigtail – Caja de Splitters)	Considerar 2 Conectores
3	Línea Terciaria – Caja CDA	(Pigtail – Caja de Abonado)	Considerar 2 Conectores
4	Roseta - ONT	(ONT)	Considerar 2 Conectores

Tabla 10: Detalle de Empalmes a realizarse desde OLT a Usuario Final

En total se contabilizan 8 conectores. Utilizando las variables de la fórmula (4), se calcula:

$$A(\text{db}) = \alpha cy$$

$$A(\text{db}) = (0.5)\text{dB} \times 4$$

$$A(\text{db}) = 2 (\text{dB})$$

En este caso la pérdida estimada corresponde a -2 dB.

- **Pérdida Drop:** Corresponde a la pérdida de potencia por la sección de la acometida, es decir, por la distancia desde la caja CDA hacia la ONT, para este cálculo se ha tomado como referencia un cable de fibra óptica de la marca Corning, cuya atenuación es de 0,25 dB/km, la longitud estimada de cable de fibra óptica que se utilizará por abonado se estima en un máximo de 0,2 kms.

En este caso la pérdida estimada corresponde a -0,05 dB.

- **Pérdida 1er Nivel Splitter:** Corresponde a la pérdida del Splitter de primer nivel utilizado, en este caso se usará un Splitter 1:4 cuya pérdida es de -7.2 dB.

En este caso la pérdida estimada corresponde a -7.2dB.

- **Pérdida 1er Nivel Splitter:** Corresponde a la pérdida del Splitter de primer nivel utilizado, en este caso se usará un Splitter 1:8 cuya pérdida es de -11 dB.

En este caso la pérdida estimada corresponde a -11 dB.

Al sumar todas las atenuaciones presentes en el diseño se obtiene:

Tabla 11: Tabla de Cálculo de Atenuaciones Totales

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PÉRDIDA EN dB.	TOTAL
Pérdida Total Conectores	c/u	10	-0.5	-5
Pérdida Cable Primario	km	1	-0.3	-0.3
Pérdida Cable Secundario	Km	0.35	-0.25	-0.35
Pérdida Cable Terciario	km	0.8	-0.3	-0.96
Pérdida empalmes de Red	c/u	6	-0.15	-0.9
Pérdida 1er Splitter	c/u	1	-7.2	-7.2
Pérdida 2do Splitter	c/u	1	-11	-11
Empalme en CDA	c/u	1	-0.15	-0.15
Pérdida acometida al cliente	km	0.2	-0.3	-0.05
TOTAL				-25.91

Del total de pérdidas estimadas de la red, se tiene que la sumatoria de estas da un valor de -25.99 dB considerando que la potencia de salida del SFP era de 4 dB, se tiene:

Potencia final ONT Clientes estimada: $4 \text{ dB} + (-25.91 \text{ dB}) = -21.91 \text{ dB}$.

El valor final estimado de Potencia recibido por la ONT de Cliente oscila alrededor de los -21.99 dB, lo cual está dentro del margen de operación de las ONT's domiciliarias, por lo tanto, la red cumple con los requerimientos técnicos. Cada uno de los valores de pérdida en el presente cálculo fue tomado de acuerdo a las hojas técnicas de los fabricantes y estándares de atenuación aplicados al diseño.

Otra forma común con la que se puede asegurar la suficiencia de la intensidad de la señal es mediante el cálculo de sensibilidad de la OLT con la siguiente formula:

$$\beta - A_T = A_G \quad (5)$$

Dónde:

β : Es la sensibilidad de la OLT

A_T : Atenuación total del enlace

A_G : Atenuación de retorno Por lo tanto

$$28 \text{ dBm} - 25.91 \text{ dBm} = 2.09 \text{ dBm} \quad (6)$$

De la aplicación de la ecuación (2), se obtiene una atenuación de retorno de 2.11 dBm, con lo que queda demostrado que no existe ningún problema en cuanto a la atenuación del sistema y los equipos que se pretende utilizar.

3.2.13. Cálculos para Ancho de Banda

3.2.13.1. Cálculo de Ancho de Banda para VoIP

Se utilizará el CODEC G.729 el cual tiene una longitud útil de 20 Bytes (payload)

Paso 1 Calcular el tamaño de las tramas de voz.

Para esta tarea, podemos utilizar el siguiente procedimiento:

- Este parámetro es el resultado del CODEC utilizado, que da como resultado el tamaño de la porción de datos. A esto se debe sumarse el tamaño de los encabezados de capa 4, capa 3 y capa 2.

De ello se deduce 20 bytes de IP, 8 bytes de UDP (UDP, del inglés User Datagram Protocol) y 12 bytes de RTP (RTP, del inglés Real Time Protocol).

En el encabezado de la capa de enlace se considerará 6 Bytes.

Tamaño de trama = Payload + Enc. 4 + Enc. 3 + Enc. 2

Tamaño de trama = 20 Bytes + 40 Bytes + 6 Bytes

Tamaño de trama = 66 Bytes

- Dado el peso del encabezado en el tamaño de la trama a transmitir, en enlaces de bajo ancho de banda (menos de 768 Kbps) es conveniente aplicar compresión de los encabezados de capa 3 y capa 4, lo que se suele denominar compresión de RTP (cRTP). Esto reduce esos 40B iniciales a 2 o 4B. De este modo nuestro cálculo queda:

Tamaño de trama = 20B + 2B + 6B = 28B

A fin de continuar el cálculo, es necesario convertir el tamaño expresado en Bytes a bits (1B = 8b):

28 Bytes x 8 bits/Byte = **224 bits/trama**

Paso 2 Calcular el ancho de banda requerido por una llamada.

La elección de la duración del paquete o lo que es lo mismo la frecuencia de los paquetes, es un compromiso entre ancho de banda y calidad. Una baja duración requiere de más ancho de banda, pero si la duración se incrementa, el retardo del sistema aumenta y es más susceptible a la pérdida de paquetes. El valor típico para el CODEC G.729 es de veinte milisegundos.

Datos:

Códec G.729

Duración Paquete= 20ms

-Cálculo de tasa de paquetes (Pr):

$$\frac{1}{\text{duración de paquete}} = \frac{1}{20ms} = 50pps$$

De ello se concluye para el CODEC G.729. Se generan 50 tramas por segundo.

-Cálculo de Tramas/paquete (N):

$$\frac{\text{duración de paquete}}{\text{duración de la trama}} = \frac{20ms}{0.125ms} = 160$$

Para calcular el ancho de banda requerido para cada llamada debemos multiplicar el tamaño de cada trama por la cantidad de tramas que se envían por segundo:

BW/llamada = tamaño de la trama x tramas por segundo

BW/llamada = 224 bits/trama x 50 tramas/seg. = 11200 bps/llamada

Paso 3 - Calcular el ancho de banda requerido en la implementación.

Se debe considerar el número de llamadas concurrentes, y multiplicar el ancho de banda requerido para cada llamada por el número de llamadas concurrentes.

BW requerido = BW/llamada x llamadas concurrentes

Para nuestro ejemplo vamos a suponer que se cursa un máximo de 90 llamadas, caso hipotético en el que todos los abonados realicen simultáneamente llamadas telefónicas concurrentes utilizando CODEC G.729 sobre un enlace PPP con cRTP.

BW requerido = 11,200 Kbps x 90 = 10 Mbps

3.2.13.2. Cálculo de Ancho de Banda para IPTV

“Internet Protocol Television” es un sistema a través del cual se entrega el servicio de televisión aplicando las redes y métodos utilizados en Internet, específicamente con protocolos de comunicación de internet sobre una infraestructura de red de paquetes conmutados. Se utiliza una conexión de banda ancha de internet en lugar del método tradicional de envío de televisión.

Este servicio requiere usualmente un ancho de banda de entre 1.5 y 6MB, pues se trata de la entrega de video en tiempo real, y en el caso de este estudio de video de alta definición, lo que requerirá de un ancho de banda aún mayor.

El estándar de compresión de video MPEG-4 es el más reciente y que más fuerza ha cobrado para la transmisión de video de manera eficiente, manteniendo la calidad deseada sobre el protocolo de internet.

Tabla 12: Niveles de Calidad de Calidad de imagen con Tasa de datos requerida

Tipo de Video	Resolución, Tasa de cuadros	Tasas de datos Requeridos
Contenido Móvil (3g)	176x144, 10-24 fps	50-160 kbps
Internet/ Definición Estándar	640x480, 24 fps	1-2 Mbps
Alta Definición (HD)	1280x720, 24 fps	5-6 Mbps
Full Alta Definición (full HD)	1920x1080, 24 fps	7-8 Mbps

Los anchos de banda necesarios para proporcionar el servicio de IPTV son diversos, a pesar de poder ofrecer un Broadcast de televisión digital, inclusive si es de alta definición, se realizará el cálculo de ancho de banda para el número total de canales que se tendrán disponibles en la red y en la modalidad de video bajo demanda; el video será enviado a cada abonado según el canal que ponga en ese momento.

Se puede establecer tres tipos de calidad en el video que se planea enviar, el video Estándar, el HD y el full HD, descartando el formato 3G reservado para dispositivos móviles y de mucha menor calidad; dada la oferta actual del mercado se realizaran paquetes de oferta de canales en modo estándar

de video junto con canales en HD, cada día más ofertados por los operadores de cable. Se consideraran 40 canales de formato estándar y 10 canales HD. Para los canales estándar se requiere 2 Mbps y para los HD un ancho de banda de 6 Mbps por cada canal, de forma que el ancho de banda total para IPTV será:

$$\text{IPTVBW} = (2\text{Mbps} * 40) + (6\text{Mbps} * 10)$$

$$\text{IPTVBW} = 140 \text{ Mbps}$$

3.2.13.3. Cálculo del Ancho de Banda para Internet

Se ha planteado para el cálculo del ancho de banda de internet, estandarizar el consumo de red por usuario en 4Mbps de Bajada y 2 Mbps de Subida.

Este valor fue establecido considerando la mayor oferta de velocidad que ofrece actualmente Telefónica del Perú, de esta manera aseguramos que los usuarios finales cuenten con internet de banda ancha, así como también puedan acceder a servicios en la nube, videoconferencia, etc.

- Cálculo Ancho de Banda Bajada de datos:

$$4\text{Mbps} * 90 = 360 \text{ Mbps}$$

Se considera una tasa de reutilización de ancho de banda de 8 a 1,

con lo que se tendrán los siguientes resultados:

$$360 \text{ Mbps} / 8 = 45 \text{ Mbps}$$

- Ancho de banda de Bajada para Internet

IntBup = 45 Mbps de bajada de datos hacia el usuario.

- Cálculo Ancho de Banda Subida de datos $2\text{Mbps} * 90 = 1800 \text{ Mbps}$

Se considera una tasa de reutilización de ancho de banda de 8 a 1, con lo que se tendrán los siguientes resultados:

180 Mbps/ 8= 22.5 Mbps

- Ancho de banda de Subida para Internet

IntBdw = 22.5 Mbps de subida de datos hacia el usuario. El ancho de banda para Internet será:

IntBW=IntBup+IntBdw

IntBW=22.5 Mbps+45 Mbps **IntBW =67.5 Mbps**

- Cálculo de Ancho de Banda Total Servicios Voz, Datos e Internet:

a) Ancho de Banda de IPTV:

IPTVBW: 140 Mbps

b) Ancho de Banda de VoIP:

VoIPBW: 10 Mbps

c) Ancho de Banda de Internet:

IntBW: 67.5 Mbps

Se realiza la sumatoria de todos los anchos de banda de cada uno de los servicios

TBW= IPTVBW+VoIPBW+IntBW... [9]

TBW=140Mbps+10Mbps+67.5Mbps

TBW=217.5 Mbps

El cálculo de Ancho de banda que consumirán los usuarios de la red arrojó como resultado un consumo de red de 217.5 Mbps, éste diseño soporta hasta 1.25 Gbps, con lo que se comprueba que se puede satisfacer totalmente el requerimiento de la red.

3.3. Revisión y Consolidación de Resultados

- Se verán beneficiados 90 abonados en este diseño, las cuales están ubicadas en el barrio San Cristóbal, Ciudad de Tarma, Departamento de Junín. Estos 90 abonados están distribuido en 4 sectores, de manera que se pueda dar servicio a la totalidad de ellos.
- Se usará un arreglo de splitter de 1:8 (1er nivel) y de 1:4 (2do nivel), de manera que por cada sector se pueda abastecer hasta 32 abonados.
- Del total disponible de abonados por sector, se usarán en promedio 22 abonados, los demás abonados, se tendrán en cuenta como reserva frente a futura expansión de usuarios.
- Del diseño se obtiene la siguiente tabla de resultados.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PÉRDIDA EN dB.	TOTAL Pérdida en dB
Pérdida Total Conectores	c/u	10	-0.5	-5
Pérdida Total Cables de Fibra	km	5.6	-4	-1.61
Pérdida empalmes de Red	c/u	6	-0.15	-0.9
Pérdida 1er Splitter	c/u	1	-7.2	-7.2
Pérdida 2do Splitter	c/u	1	-11	-11
Empalme en CDA	c/u	1	-0.15	-0.15
Pérdida acometida al cliente	km	0.2	-0.3	-0.05
TOTAL				-25.91

Considerando SFP de 4 Db en el OLT, se obtendrá:

Potencia final ONT Clientes estimada: 4 dB + (-25.99 dB) = -21.99 dB.

Dicho rango es apropiado para las ONT's que utilizarán los clientes

- **Calculo de la pérdida por retorno óptica:**

$$28 \text{ dBm} - 25.99 \text{ dBm} = 2.11 \text{ dBm}$$

Donde 28 dBm es la sensibilidad de la OLT, 25.99 dBm es la pérdida del enlace y 2.11 dBm es la pérdida por retorno óptico.

- **Ancho de Banda para Voip:**

Tamaño de trama = Payload + Enc. 4 + Enc. 3 + Enc. 2 Tamaño de trama = 20

Bytes + 40 Bytes + 6 Bytes Tamaño de Trama = 66 Bytes

Tamaño de Trama con compresión = 28 Bytes 224 bits/trama

- **Calculo de Ancho de Banda para Voip**

BW/llamada = 224 bits/trama x 50 tramas/seg. = 11200 bps/llamada. BW

requerido = BW/llamada x llamadas concurrentes.

BW requerido = 11,200 Kbps x 90 = 10 Mbps. Calculo de Ancho de Banda para IPTV

Se considera para el cálculo de canales 40 canales de Definición Estándar y 6

Canales de tipo HD

$IPTVBW = (2Mbps * 40) + (6Mbps * 10)$ IPTVBW = 140 Mbps

- **Calculo del Ancho de Banda para Internet**

Se ha planteado un consumo de red por usuario en 4 Mbps de Bajada y 2 Mbps de subida.

- **Cálculo Ancho de Banda Bajada de datos:**

$Bw = 4Mbps * 90 = 360$ Mbps

Se considera una tasa de reutilización de 8 a 1, se tendrán los siguientes resultados:

$Bwd = 360$ Mbps / 8 = 45 Mbps

- **Cálculo Ancho de Banda Subida de datos:**

$2Mbps * 90 = 180$ Mbps

Se considera una tasa de reutilización de 8 a 1, se tendrán los siguientes resultados

$Bwu = 180$ Mbps / 8 = 22.5 Mbps

- **Calculo de Ancho de Banda Total**

$\text{IntBW} = \text{IntBup} + \text{IntBd}$

w $\text{IntBW} = 22.5$

Mbps + 45 Mbps

$\text{IntBW} = 67.5 \text{ Mbps}$

$\text{TBW} = \text{IPTVBW} + \text{VoIPBW} + \text{IntBW} \dots [8]$

$\text{TBW} = 140 \text{ Mbps} + 10 \text{ Mbps} + 67.5 \text{ Mbps}$

$\text{TBW} = 217.5 \text{ Mbps}$

El presente diseño de fibra óptica, soportará el ancho de banda de 217.5 Mbps.

CONCLUSIONES

Queda demostrado que es posible diseñar una red tipo FTTH para brindar telefonía IP, Internet y Televisión a los abonados del barrio San Cristóbal, Ciudad de Tarma, Departamento de Junín. Estas tecnologías tendrán mejor calidad que ya instaladas para abastecer esta zona, debido a que el ancho de banda para poder transmitir información es muy superior al que ofrecen las líneas de cobre, además solo será necesario un cable de fibra óptica para transmitir dicha información.

Mediante la presente solución se garantiza la inclusión en tecnologías de banda ancha a los pobladores del Barrio San Cristóbal, gracias a ello tendrán mejor acceso a información; esto generará un impacto positivo en la educación de su población estudiantil, así como incrementa oportunidades de negocio y desarrollo de la zona.

Queda demostrado mediante los cálculos anteriormente mencionados, que el presente diseño de fibra óptica, provee ancho de banda suficiente para abastecer servicios de telefonía IP, internet y Televisión a 90 abonados, en las velocidades de transmisión y calidad de señal que se demostraron en el presente trabajo.

A través de un solo cable de fibra óptica, se podrán transmitir tres servicios diferentes, permitiendo con ello, disminuir la cantidad de cables necesarios para abastecer los servicios anteriormente mencionados. Por consiguiente se disminuirán costos en temas logísticos, instalación y de mantenimiento.

Debido a la sectorización realizada el total de los 90 abonados, serán beneficiados con el servicio de Voz, Video y Datos a través del cable de Fibra Óptica. Permitiendo por cada abonado el acceso a 40 canales de definición normal, y 6 canales en HD. Por otro lado se tendrá para los usuarios servicio de

internet de banda ancha, debido a que se tendrán hasta 4 Mbps de velocidad de Bajada y 2 Mbps de velocidad de subida.

A parte de las tecnologías anteriormente mencionados como transmisión de voz, video y datos, se podrá abastecer a los ciudadanos del barrio San Cristóbal con otras tecnologías más, debido a que en este diseño sólo se ha utilizado un 8.68 % del total del ancho de banda disponible.

RECOMENDACIONES

Se recomienda para el momento de la implementación, verificar la correcta instalación y procedimientos en las líneas de fibra óptica, evitando atenuaciones por exceso de curvatura o roturas de los hilos de fibra óptica; de esta manera se podrá asegurar un ancho de banda suficiente para abastecer los servicios triple play mencionados en el desarrollo del presente trabajo.

Se recomienda cuando se realice la implementación, verificar si hubo crecimiento poblacional en el Barrio San Cristóbal, en caso de ser así el presente diseño soporta un crecimiento de 30 % de la población actual. De esta manera se podrá incluir a los nuevos residentes del barrio San Cristóbal, garantizando inclusión digital a todos sus pobladores.

Para realizar un correcto cálculo de atenuaciones, se recomienda considerar todos los empalmes, cajas de distribución, acometidas etc. Así como también considerar un margen adicional en el cálculo del diseño, por si se produce alguna rotura en la línea de tendido y que se tenga que subsanar.

Se recomienda, abastecer en su totalidad a todos los usuarios de los servicios triple play a través de fibra óptica en el barrio San Cristóbal, de manera que se pueda prescindir de cables de cobre; así aseguraremos la disminución de cables necesarios para abastecer de estos servicios con consecuente disminución de cables en los postes.

Se recomienda para futura implementación, respetar la sectorización de los abonados del barrio San Cristóbal realizados en el presente diseño, así como los Splitter que han sido considerados ya que el cálculo de las atenuaciones se realizó en base a las características técnicas de los mismos. Algún cambio podría generar pérdidas excesivas ocasionando problemas en el ancho de

banda.

Se recomienda que de manera futura se pueda abastecer a los pobladores de la zona de otras tecnologías de manera que se pueda aprovechar el ancho de banda excedente que se tendrá en la red y que hasta el presente diseño no será usado.

BIBLIOGRAFÍA

J. Capmany, F. J. Fraile-Peláez, J. Martí

Fundamentos de Comunicaciones Ópticas

Editorial Síntesis; Madrid, 1998

G. P. Agrawal Fiber-

Optic Communication Systems

Segunda Edición, Editorial John Wiley & Sons, Inc.; New York, 1997

GLOSSARY OF TELECOMMUNICATIONS TERMS

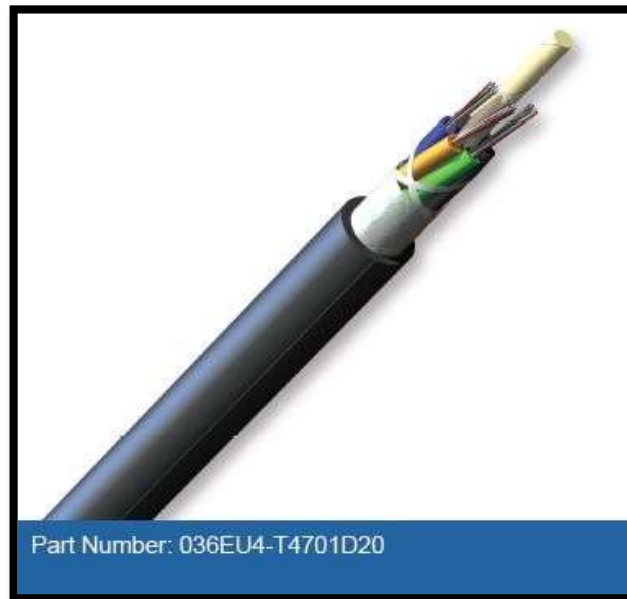
http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-007/_0975.htm

CRAIG C, Freudenrich. HOW FIBER OPTICS WORK.

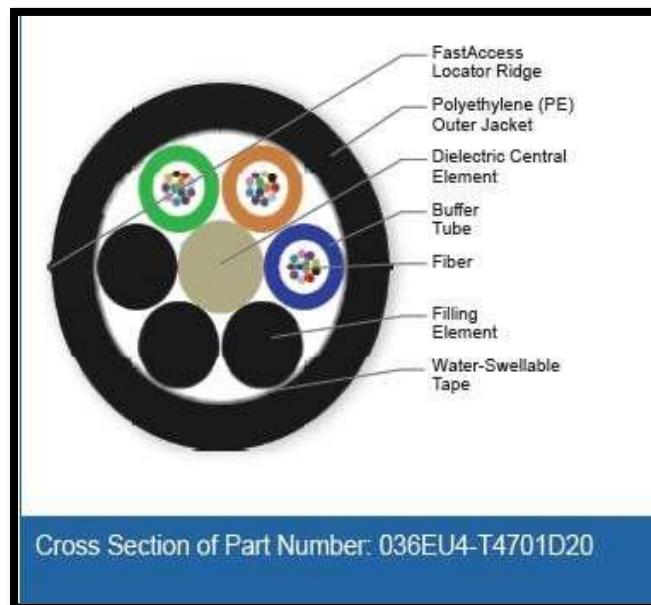
<http://www.howstuffworks.com/fiber-optic.htm>

ANEXOS

a. Cable de fibra óptica ADSS de 36 hilos marca Corning



Vista Transversal de Cable de Fibra Óptica de 36 Hilos



Hoja de Características Técnicas Cable ADSS 36 Hilos

General Specifications	
Environment	Outdoor
Application	Aerial, Duct
Cable Type	Loose Tube
Product Type	Dielectric
Fiber Category	Single-mode (OS2)

Temperature Range	
Storage	-40 °C to 70 °C (-40 °F to 158 °F)
Installation	-30 °C to 70 °C (-22 °F to 158 °F)
Operation	-40 °C to 70 °C (-40 °F to 158 °F)

Cable Design	
Central Element	Dielectric
Fiber Count	36
Fiber Coloring	Blue, Orange, Green, Brown, Slate, White, Red, Black, Yellow, Violet, Rose, Aqua
Fibers per Tube	12
Number of Tube Positions	6
Number of Active Tubes	3
Buffer Tube Color Coding	Blue, Orange, Green
Buffer Tube Diameter	2.5 mm (0.1 in)
Number of Filling Elements	3
Tape	Water-swellaible
Outer Jacket Material	Polyethylene (PE)
Outer Jacket Color	Black

Mechanical Characteristics Cable	
Max. Tensile Strength, Short-Term	2700 N (600 lbf)
Max. Tensile Strength, Long-Term	890 N (200 lbf)
Weight	73 kg/km (49 lb/1000 ft)
Nominal Outer Diameter	10.5 mm (0.41 in)
Min. Bend Radius Installation	158 mm (6.2 in)
Min. Bend Radius Operation	105 mm (4.1 in)

Chemical Characteristics	
RoHS	Free of hazardous substances according to RoHS 2002/95/EG

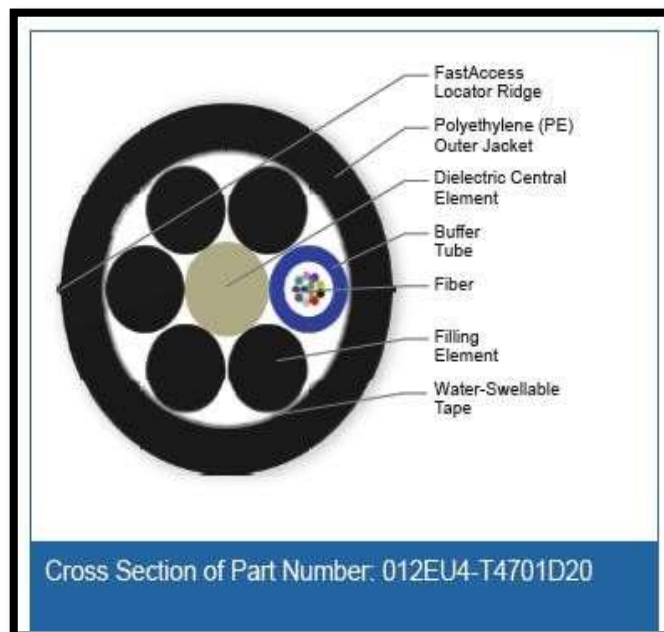
Fiber Specifications

Optical Characteristics (cabled)	
Fiber Name	Single-mode (OS2)
Fiber Category	G 652.D
Fiber Code	E
Performance Option Code	01
Wavelengths	1310 nm / 1383 nm / 1550 nm
Maximum Attenuation	0.4 dB/km / 0.4 dB/km / 0.3 dB/km

b. Cable de fibra óptica ADSS de 12 hilos marca Corning



Vista Transversal de Cable de Fibra Óptica de 12 Hilos



Hoja Técnica de Cable de Fibra Óptica de 12 Hilos Corning

General Specifications	
Environment	Outdoor
Application	Aerial, Duct
Cable Type	Loose Tube
Product Type	Dielectric
Fiber Category	Single-mode (OS2)

Temperature Range	
Storage	-40 °C to 70 °C (-40 °F to 158 °F)
Installation	-30 °C to 70 °C (-22 °F to 158 °F)
Operation	-40 °C to 70 °C (-40 °F to 158 °F)

Cable Design	
Central Element	Dielectric
Fiber Count	12
Fiber Coloring	Blue, Orange, Green, Brown, Slate, White, Red, Black, Yellow, Violet, Rose, Aqua
Fibers per Tube	12
Number of Tube Positions	6
Number of Active Tubes	1
Buffer Tube Color Coding	Blue
Buffer Tube Diameter	2.5 mm (0.1 in)
Number of Filling Elements	5
Tape	Water-swellable
Outer Jacket Material	Polyethylene (PE)
Outer Jacket Color	Black

Características Mecánicas de Cable de Fibra Óptica de 12 hilos

Mechanical Characteristics Cable	
Max. Tensile Strength, Short-Term	2700 N (500 lbf)
Max. Tensile Strength, Long-Term	890 N (200 lbf)
Weight	73 kg/km (49 lb/1000 ft)
Nominal Outer Diameter	10.5 mm (0.41 in)
Min. Bend Radius Installation	158 mm (6.2 in)
Min. Bend Radius Operation	105 mm (4.1 in)

Chemical Characteristics	
RoHS	Free of hazardous substances according to RoHS 2002/95/EG

Fiber Specifications

Optical Characteristics (cabled)	
Fiber Name	Single-mode (OS2)
Fiber Category	G.652.D
Fiber Code	E
Performance Option Code	01
Wavelengths	1310 nm / 1383 nm / 1550 nm
Maximum Attenuation	0.4 dB/km / 0.4 dB/km / 0.3 dB/km

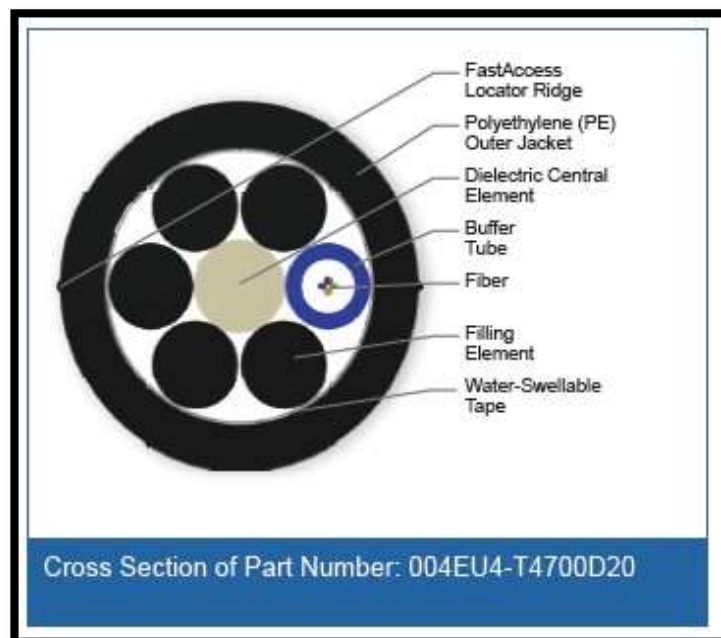
Ordering Information

Part Number	D12EU4-T4701D20
Product Description	ALTOS® Loose Tube, Gel-Free, All-Dielectric Cable with FastAccess® Technology, 12 F, Single-mode (OS2)

c. Cable de fibra óptica ADSS de 4 hilos marca Corning



Vista transversal de Cable de Fibra Óptica de 4 hilos



Hoja Técnica de Cable de Fibra Óptica marca Corning de 4 hilos

General Specifications	
Environment	Outdoor
Application	Aerial, Duct
Cable Type	Loose Tube
Product Type	Dielectric
Fiber Category	Single-mode (OS2)

Temperature Range	
Storage	-40 °C to 70 °C (-40 °F to 158 °F)
Installation	-30 °C to 70 °C (-22 °F to 158 °F)
Operation	-40 °C to 70 °C (-40 °F to 158 °F)

Cable Design	
Central Element	Dielectric
Fiber Count	4
Fiber Coloring	Blue, Orange, Green, Brown
Fibers per Tube	4
Number of Tube Positions	6
Number of Active Tubes	1
Buffer Tube Color Coding	Blue
Buffer Tube Diameter	2.5 mm (0.1 in)
Number of Filing Elements	5
Tape	Water-swellaible
Outer Jacket Material	Polyethylene (PE)
Outer Jacket Color	Black
Maximum Fibers per Tube	12

Características Mecánicas de Cable de Fibra Óptica Corning de 4 hilos

Mechanical Characteristics Cable	
Max. Tensile Strength, Short-Term	2700 N (600 lbf)
Max. Tensile Strength, Long-Term	890 N (200 lbf)
Weight	73 kg/km (49 lb/1000 ft)
Nominal Outer Diameter	10.5 mm (0.41 in)
Min. Bend Radius Installation	158 mm (6.2 in)
Min. Bend Radius Operation	105 mm (4.1 in)

Chemical Characteristics	
RoHS	Free of hazardous substances according to RoHS 2002/95/EG

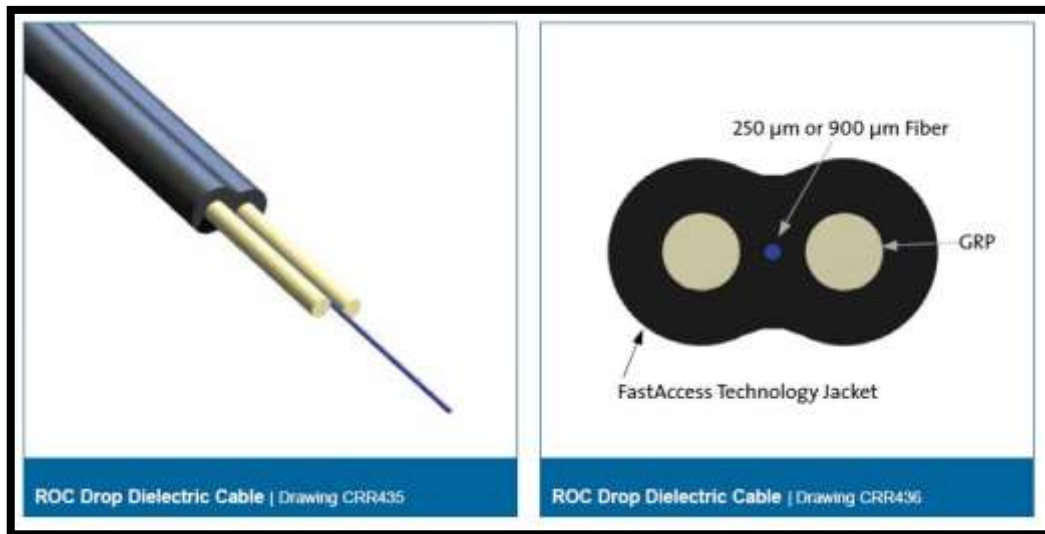
Fiber Specifications

Optical Characteristics (cabled)	
Fiber Name	Single-mode (OS2)
Fiber Category	G.652.D
Fiber Code	E
Performance Option Code	00
Wavelengths	1310 nm / 1383 nm / 1550 nm
Maximum Attenuation	0.35 dB/km / 0.35 dB/km / 0.25 dB/km

Ordering Information

Part Number	004EU4-T4700D20
Product Description	ALTOS® Loose Tube, Gel-Free, All-Dielectric Cable with FastAccess® Technology, 4 F, Single-mode (OS2)

d. Cable Drop de fibra óptica ADSS de 1 hilo marca Corning



Hoja Técnica de Cable de fibra óptica tipo Drop

Fiber Count	Nominal Weight kg/km (lb/1000 ft)	Nominal Dimensions mm (in)	Minimum Bend Radius Installed cm (in)
1	14.6 (9.7)	5.4 x 3.0 (0.21 x 0.12)	6.3 (2.46)

Fiber Code	Single-Mode
Performance Option Code	E
Fiber Type (μm)	00
ISO/IEC 11801 Nomenclature	Low-water-peak standard single-mode*
Wavelength (nm)	OS2
Minimum Attenuation (dB/km)	1310/1383/1550
	0.35/0.35/0.25

e. OLT Zhone's MXK Terabit Access Platforms



Hoja Técnica de OLT Zhone MXK Terabit Access Plataforms

<p>Dimensions</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ MXK 319 <ul style="list-style-type: none"> - 3U: 5.25 x 17.25 x 11.15 in. / 13.3 x 43.8 x 28.3 cm - Line Cards: 7; front card access ■ MXK 819 <ul style="list-style-type: none"> - 8U: 13.97 x 17.25 x 11.15 in. / 35.5 x 43.8 x 28.3 cm - Line Cards: 14; front card access ■ MXK 823 <ul style="list-style-type: none"> - 8U: 13.97 x 21.18 x 11.15 in. / 35.5 x 53.8 x 28.3 cm - Line Cards: 18; front card access <p>Power</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ DC: -43.75V to -62V ■ Dual (A / B redundant) power feeds <p>Interfaces</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ MXK-UPLINK-2x10G-8x1GE-CLK: Uplink with 2 x 10G and 8 x 1G Ethernet Ports, as well as E1/T1/BITS timing inputs ■ MXK-UPLINK-2x10G-8x1GE-TOP: Uplink with 2 x 10G and 8 x 1G Ethernet Ports, as well as SyncE, 1588v2, and E1/T1/BITS timing inputs 	<p>Standards Support</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Bridging 802.1D ■ VLAN 802.1Q with 802.1p ■ Multicast IGMP v2 and v3 (Snooping, proxy) ■ ITU G.984.1- 984.4 OMCI ■ IEEE 802.3ah ■ IEEE 802.3ad LACP ■ DHCP Relay ■ RSTP ■ EAPS <p>Management</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Unit Level <ul style="list-style-type: none"> - Terminal for Command Line Interface (CLI) - Web GUI-based Management ■ Network Level <ul style="list-style-type: none"> - ZMS (Zhone Management System) via SNMP v2c for GUI, with CORBA IDL or XML OSS Gateway machine interface for OSS integration - Fully ITU standards-compliant Smart OMCI implementation for ONT management <p>Regulatory Compliance</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Safety: UL 60950-1; CSA 60950-1; EN 60950-1 ■ Emissions: EN 55022A*; PART 15A (FCC) ■ Immunity: GR-1089-CORE, Issue 3*; SR-3580, Issue 1*; ATT-TP-76200, Issue 14*; VZ.TPR.9205, Issue 3* ■ Environmental: GR-63-CORE, Issue 3* ■ *In process 	<p>Operating Requirements</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ambient operating temperature: -40° C to +65° C ■ Relative operating humidity: up to 85% (non-condensing) ■ GR-487 compliant ■ Designed for outside plant deployment <p>Uplinks & Line Cards</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Uplinks: <ul style="list-style-type: none"> - 6 x 1G Ethernet with E1/T1/BITS timing inputs - 2 x 10G Ethernet + 8 x 1G Ethernet with E1/T1/BITS timing inputs - 2 x 10G Ethernet + 8 x 1G Ethernet with SyncE, 1588v2, and E1/T1/BITS timing inputs ■ Optical Based Line Cards: <ul style="list-style-type: none"> - 4 Port GPON OLT - 8 Port GPON OLT - 20 Port Active Ethernet (High Performance/ High Density options) ■ Copper Based Line Cards: <ul style="list-style-type: none"> - 24 port Basic Rate ISDN - 24 port G.SHDSL EPM - 48 port ADSL - 72 port ADSL - 48 port ADSL + Splitter - 48 port ADSL + POTS combo - 24 port VDSL2 - 24 port VDSL2 + Splitter - 24 port VDSL2 + POTS combo - 48 port VDSL2 w/Vectoring - 24 port T1/E1 EFM - 24 port T1/E1 PWE - 72 port POTS
---	---	---

f. GPON OLT Optical Transceiver SFP Module RTX167-526



Hoja Técnica de Transceiver SFP Module RTX167-526

Parameter	Symbol	Unit	Min	Typ	Max	Test condition
Electrical Characteristics						
Operating Voltage	V_{op}	V	3.135	3.3	3.465	
Supply Current	I_{cc}	mA	-	-	450	
LVPECL Single Ended Data Input Swing		mV	100	-	800	Note1
LVPECL Single Ended Data Output Swing		mV	200	-	800	Note10
Differential Data input impedance	Ω		-	100	-	Note1
Input Signal Level(LVTTL H)	V		2.0	-	Vcc	
Input Signal Level(LVTTL L)	V		0	-	0.8	
Output Signal Level(LVTTL H)	V		2.4	-	Vcc	
Output Signal Level(LVTTL L)	V		0	-	0.4	
Optical Transmitter Characteristics						
Data Rate		Mbps	-	2488.32	-	
Center Wavelength Range	λ_c	Nm	1480	1490	1500	DFB-LD
Spectral Width(@-20dB)	$\Delta\lambda$	Nm	-	-	1	
Side Mode Suppression Ratio	SMSR	dB	30	-	-	
Launch Optical Power	P_o	dBm	+3	-	+7	Note2
Off level light		dBm	-	-	-39	Note3
Extinction Ratio	EX	dB	9.0	-	-	Note4
Total Jitter	J_{total}	UI	-	-	0.1	
Rise/Fall time(20~80%)	T_r/T_f	Ps	-	-	150	Note5
$RIN_{1\%OMA}$		dB/Hz	-	-	-115	
Optical Return Loss Tolerance		dB	-	-	15	
Maximum reflectance		dB	-	-	-12	$\lambda=1.49\mu m$
Eye Diagram			Compliant with ITU-T G.984.2			Note4 Note6

g. GPON ONT for FiberLAN Applications



Hoja Técnica de GPON ONT for FiberLAN Applications

Technical Specifications

Dimensions

- Complete Enclosure
- 1.5 in. H x 10 in. W x 6.5 in. D
- 3.8 cm H x 25.4 cm W x 16.5 cm D

Weight

- 1.0 - 1.2LB (0.45 - 0.54 kg)

Power

- 12-54 VDC (non-PoE models)
- 48-54 VDC (PoE models)
- 100-240 VAC, 50/60 Hz (AC Adapter)
- Max Power (ONT only): 20W
- Max PoE Power for attached device: 120W

Interfaces

- GPON**
 - SC/APC connector
 - ITU-T G.984 compliance (at levels down to -25 dBm)
- GPON Rx**
 - 1310nm optics
 - DBM (Differential Burst Mode)
 - Upstream data rate: 1.25 Gbps
 - Launch Power: +0.5 to +5.0dBm
- GPON Tx**
 - 1490nm optics
 - APD/TIA CW Mode
 - Downstream data rate: 2.5 Gbps
 - Receiver sensitivity: -29dBm
 - Input power overload: -60dBm
 - Input damage level: +5dBm
- RF Video Rx**
 - 1550nm optics
 - Usable input power range: -60dBm to +2 dBm
 - Input power overload: +20dBm
 - Input damage level: +5dBm
- Ethernet**
 - RJ-45 connector
 - 4 or 8 x 10/100/1000 Base-T ports, all of which can support PoE
 - Meets IEEE 802.3 specifications
 - Auto-MDIX and auto speed supported
- POTS**
 - RJ-11 connector
 - 0, 2 or 4 FXS ports
 - 2 Y-adapters included for 4-port models
- RF Video Output Port**
 - 1 x F-Type connector
 - RF output impedance: 75 ohms
 - RF output level: 17dBm minimum
 - RF standard: 47 to 1002 MHz

Standards Support

- GPON**
 - ITU-T G.984 compliant (at levels down to -25 dBm)
- PoE**
 - 802.3at compliant (30W max per port, 120 W max per ONT)

Voice Support

- SIP (RFC 3261)
- MGCP
- Codec: G.711 bi-law and A-law, G.729B, G.726
- DTMF (dual)
- 5 REB (total) per ONT
- Echo cancellation
- Voice Activity Detection and Comfort Noise Insertion
- Caller ID, Call Waiting, Call Forwarding, Call Transfer, Three Way Calling, Distinctive Ringing
- G.711 fallback for FAX
- T.38 and T.38 FAX
- DHCP (static or static IP configuration)

Protocol Support

- GPON**
 - Fully ITU-T G.984 compliant framing
 - 32 T-CONTs per device
 - 32 GEM Ports per device
 - Activation with automatic discovered SN and password in conformance with ITU-T G.984.3
 - AES-128 Encryption with key generation and switching
 - FEC (Forward Error Correction)
 - 802.1p-mapper service profile on UFS
 - Support for Multicast GEM Port QoS
 - Ethernet bridging/switching per IEEE 802.1d/802.1q
 - Traffic management (priority queuing and traffic shaping)
 - QoS with support for IEEE 802.1p + DSCP VLANs
 - Per port IEEE 802.1q VLAN ID processing
 - VLAN tagging/untagging
 - VLAN Stacking (QinQ)
 - VLAN Switching
- IPv6**
 - IGMP v3 Snooping
 - VLAN support
- Layer 2**
 - 802.3n flow control
 - Automatic MAC learning and aging
 - Support for up to 4,096 MAC addresses for IG traffic flows
 - Broadcast storm control
- IP Routing and Firewall**
 - PPPoE
 - NAT/PAT
 - port forwarding
 - DHCP Server
 - QoS (Prio)

Management

- DMZ
- Web UI
- CLI
- SNMP
- Telnet
- USP (Unified Service Provisioning)

Regulatory Compliance

- CE
- UL
- FCC part B

Operating Requirements