

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**INFORME DE TESIS**

**“DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA FTTH  
PARA DISTRIBUIR SERVICIOS DE BANDA ANCHA EN EL  
DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA, PROVINCIA  
TACNA”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

PRESENTADO POR:

Bach. Ernesto Antonio Ríos De La Cruz

Bach. Huido Quino Huanacuni

TACNA – PERÚ

2020

## PÁGINA DEL JURADO

SUSTENTACION DE TESIS Titulada: "DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA FTTH PARA DISTRIBUIR SERVICIOS DE BANDA ANCHA EN EL DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA, PROVINCIA TACNA"



Mag. ANIBAL JUAN ESPINOZA ARANCIAGA

Presidente



Ing. CARLOS ARMANDO RODRIGUEZ SILVA

Secretario



Ing. HERACLIO HENRY GOMEZ DEL CARPIO

Vocal



Ing. HUGO JAVIER RIVERA HERRERA

Asesor

## PAGINA DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Nosotros Bach. Ernesto Antonio Ríos De la Cruz y Bach. Huido Quino Huanacuni, en calidad de: bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 73047536 y 00791897 respectivamente.

### **Declaramos bajo juramento que:**

1. Somos autores de la tesis titulada:

"DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA FTTH PARA DISTRIBUIR SERVICIOS DE BANDA ANCHA EN EL DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA, PROVINCIA TACNA"

La misma que presentamos para optar:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.

4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, nos hacemos responsables frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestras acciones se deriven, sometiéndonos a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna 17 de setiembre del 2019

Firma.



.....

Nombres y apellidos: Ernesto Antonio Ríos De la Cruz

DNI: 73047536

Firma.



.....

Nombres y apellidos: Huido Quino Huanacuni

DNI: 00791897

## PÁGINA DE DEDICATORIA

Nuestro trabajo de investigación lo dedicamos con todo amor y cariño a Dios y nuestros familiares, padres, hermanos e hijos, que han sido nuestro soporte principal para continuar creciendo en nuestra formación personal y profesional en cada una de nuestras vidas, el agradecimiento enorme a todos nuestros docentes que nos han impartido sus conocimientos técnicos, científicos y humanísticos durante nuestra formación académica, amigos y a todas las personas que en alguna forma directa e indirectamente han colaborado para poder alcanzar a concretar con cada uno de nuestros objetivos.

## PÁGINA DE AGRADECIMIENTO

Agradecimiento especial a nuestros docentes de la escuela profesional de ING. Electrónica, por estar presentes en resolver cada uno de nuestras inquietudes e impartirnos conocimientos en las aulas, de tal forma que el paso por la universidad sea agradable.

ERNESTO a mi madre,

Por ser un ejemplo de tenacidad, he llegado y continuo gracias a ti y a tu apoyo permanente e incondicional, gracias por estar presente en todo momento y sobre todo a enseñarme a seguir por el buen camino.

Te quiero mucho, madre mía.

HUIDO a mis hijos y a mi madre.

Agradezco a dios por brindarme la inmensa alegría de tener a mis hijos Paul, Jesús, Katherine y a ti madre querida por brindarme su inmenso cariño, tus enseñanzas y mostrarme el camino correcto de la vida.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	17
<b>PALABRAS CLAVE</b> .....	17
<b>ABSTRACT</b> .....	18
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	19
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	20
<b>1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	20
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	20
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA</b> .....	20
<b>1.4. OBJETIVO</b> .....	21
<b>1.4.1. Objetivos específicos</b> .....	21
<b>1.5. HIPÓTESIS</b> .....	21
<b>1.5.1. Hipótesis específica</b> .....	21
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	23
<b>2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO</b> .....	23
<b>2.2. BASE TEÓRICA</b> .....	24
<b>2.2.1. Fibra óptica</b> .....	24
<b>2.2.2. Ventajas de la fibra óptica</b> .....	24
<b>2.2.3. Espectro electromagnético</b> .....	24
<b>2.2.4. Propagación de la luz en la fibra óptica</b> .....	26
<b>2.2.5. Tipos de fibra óptica</b> .....	30
<b>2.2.6. Atenuación en la fibra óptica</b> .....	33
2.2.6.1. Atenuación por factores intrínsecos .....	33
2.2.6.2. Atenuación por factores extrínsecos .....	35
<b>2.2.7. Topología y tecnología FTTH</b> .....	37
2.2.7.1. Topología punto a multipunto .....	38
2.2.7.2. Topología punto a punto .....	39
<b>2.2.8. Capas de red</b> .....	39
<b>2.2.9. Arquitectura de red FTTx</b> .....	40
<b>2.2.10. Componentes de una red PON</b> .....	43
2.2.10.1. Terminal de línea óptico.....	45
2.2.10.2. Unidad de red óptica.....	45

2.2.10.3.	Divisor óptico .....	46
2.2.10.4.	Conectores.....	49
<b>2.2.11.</b>	<b>Estándar GPON (Gigait passive optic network) .....</b>	<b>50</b>
2.2.11.1.	Flujo de trafico.....	52
2.2.11.2.	Estructura de trama descendente .....	53
2.2.11.3.	Estructura de trama ascendente .....	54
<b>2.2.12.</b>	<b>Servicios de banda ancha .....</b>	<b>55</b>
<b>2.2.13.</b>	<b>Coexistencia de tecnologías xPON .....</b>	<b>58</b>
<b>2.2.14.</b>	<b>Ventajas y deficiencias de las redes PON .....</b>	<b>59</b>
<b>2.2.15.</b>	<b>Diseño de una red de acceso GPON FTTH .....</b>	<b>60</b>
<b>2.3.</b>	<b>DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....</b>	<b>63</b>
<b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....</b>		<b>64</b>
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	64
3.2.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	64
3.2.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE .....	64
3.2.2.	VARIABLE DEPENDIENTE .....	64
3.3.	DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN .....	64
<b>CAPÍTULO IV. DISEÑO .....</b>		<b>65</b>
4.1.	DISEÑO E INGENIERÍA DE LA RED DE ACCESO .....	65
4.2.	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA .....	65
4.3.	POBLACIÓN SELECCIONADA PARA EL DISEÑO UNA RED DE ACCESO ..	69
4.3.1.	Ciudad de Paz.....	69
4.3.2.	Paseo de los Héroes y Virgen de la Candelaria.....	70
4.3.3.	Villa Colonial .....	72
4.3.4.	Ciudad Futura .....	73
4.3.5.	El Comerciante.....	74
4.3.6.	La Joya .....	74
4.3.7.	El Nazareno .....	74
4.3.8.	Los Florales.....	76
4.3.9.	La Perla.....	76
4.3.10.	Ex Combatientes del Cenepa .....	76
4.3.11.	Los Geranios .....	76

<b>4.4. REQUERIMIENTO DE BANDA ANCHA GENERADA DE LOS DISTINTOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>4.5. OBTENCIÓN DE TASA DE TRANSMISIÓN EN BANDA ANCHA .....</b>	<b>80</b>
<b>4.6. CÁLCULO DE PROYECCIÓN DE TRÁFICO DE RED EN BANDA ANCHA .....</b>	<b>81</b>
<b>4.7. ANÁLISIS DEL PRESUPUESTO DE ENLACE ÓPTICO .....</b>	<b>83</b>
<b>4.8. ARQUITECTURA DE LA RED DE ACCESO .....</b>	<b>88</b>
<b>4.9. DETERMINACIÓN DE PRINCIPALES PARÁMETROS PARA GPON .....</b>	<b>90</b>
<b>4.10. DELIMITACIÓN DE TOPOLOGÍA FÍSICA DE ARQUITECTURA DE RED FTTH 92</b>	
<b>4.10.1. Red troncal .....</b>	<b>92</b>
<b>4.10.2. Red de distribución .....</b>	<b>93</b>
<b>4.10.3. Red de acceso .....</b>	<b>94</b>
<b>4.11. CÁLCULO DE PRESUPUESTO ÓPTICO PARA RED EL ACCESO CON TECNOLOGÍA GPON .....</b>	<b>94</b>
<b>4.12. ANÁLISIS DE ANCHO DE BANDA PARA CABLES DE FIBRA ÓPTICA ...</b>	<b>101</b>
<b>4.13. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DEL DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO FTTH .....</b>	<b>101</b>
<b>4.13.1. Terminal de línea óptica (ZXA10 C320 OLT - 16 GPON) .....</b>	<b>101</b>
<b>4.13.2. Módulo transceptor óptico (SFP) o mini GBI .....</b>	<b>104</b>
<b>4.13.3. Gabinete de distribución de fibra óptica (ODF) .....</b>	<b>105</b>
<b>4.14. DISEÑO DE RED DE DISTRIBUCIÓN .....</b>	<b>106</b>
<b>4.14.1. Caja de acceso universal (DIVICAU)/CDF .....</b>	<b>106</b>
<b>4.14.2. Cable ADSS 96/48/24 fibra óptica monomodo .....</b>	<b>107</b>
<b>4.14.3. Divisor óptico de primer nivel 1:4 .....</b>	<b>108</b>
<b>4.15. DISEÑO DE RED DE ACCESO .....</b>	<b>109</b>
<b>4.15.1. Caja terminal óptica (CTO) .....</b>	<b>109</b>
<b>4.15.2. Divisor óptico de segundo nivel 1:16 .....</b>	<b>110</b>
<b>4.16. Diseño de red de terminación .....</b>	<b>111</b>
<b>4.16.1. Caja de terminal óptica .....</b>	<b>111</b>
<b>4.16.2. Terminal óptico de red .....</b>	<b>111</b>
<b>4.16.3. Cable drop de uso exterior con conector reforzado tipo bayoneta ..</b>	<b>112</b>
<b>5. ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>115</b>
<b>5.1. COSTO DE INVERSIÓN CAPEX .....</b>	<b>115</b>
<b>5.2. COSTO DE INVERSIÓN OPEX .....</b>	<b>117</b>

<b>5.3. FLUJO DE CAJA .....</b>	<b>118</b>
<b>5.4. CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE PROYECTO .....</b>	<b>119</b>
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>120</b>
<b>7. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>121</b>
<b>8. Bibliografía .....</b>	<b>122</b>

## Índice de figuras

Figura 1. Espectro electromagnético.....	25
Figura 2. Atenuación en la fibra según la longitud de onda.....	26
Figura 3. Refracción de la luz.....	26
Figura 4. Primera ley de refracción (Reflexión total interna). ....	27
Figura 5. Ley de Snell. ....	28
Figura 6. Ángulos de refracción y reflexión. ....	29
Figura 7. Reflexión total interna. ....	30
Figura 8. Modo de transmisión monomodo. ....	30
Figura 9. Diametro de Campo Modal (MFD) en Fibra monomodo. ....	31
Figura 10. Modo de transmisión monomodo. ....	32
Figura 11. Fenómenos de ensanchamiento a causa de la dispersión.....	34
Figura 12. Dispersión de Rayleigh. ....	35
Figura 13. Curva de atenuación por factores intrínsecos. ....	35
Figura 14. Radio máximo de curvatura. ....	36
Figura 15. Reflexión de Fresnel. ....	37
Figura 16. Radio máximo de curvatura. ....	37
Figura 17. Topologías en tecnologías FTTH. ....	38
Figura 18. Capas en redes FTTH.....	40
Figura 19. Capas y modelos de red FTTH. ....	40
Figura 20. Arquitectura general de una red FTTH.....	42
Figura 21. Arquitectura de una red de etapa única. ....	42
Figura 22. Arquitectura de red de dos etapas en FTTH ....	43
Figura 23. Componentes de una red PON.....	43
Figura 24. Estructura de fibra hasta la casa.....	44
Figura 25. Funcionamiento de equipo OLT. ....	45
Figura 26. Flujo de trafico de paquetes de data en PON ....	46
Figura 27. Atenuacion en divisor óptico. ....	46
Figura 28. Divisor óptico de onda planar (PLC) ....	49
Figura 29. Divisor por Acondicionado Biconico Fundido (FBT).....	49
Figura 30. Tipos de conectores comúnmente utilizados. ....	50
Figura 31. Cálculo de presupuesto de atenuación. ....	52
Figura 32. Funcionamiento del proceso de multiplexación por división de tiempo. .....	52

Figura 33. Funcionamiento del protocolo de acceso múltiple por división de tiempo.	53
Figura 34. Trama descendente de TC y GTC.	54
Figura 35. Descripción detallada de tramas ascendentes GTC.	54
Figura 36. Requerimientos de ancho de banda según tipo de aplicación.	56
Figura 37. Crecimiento de las redes FTTH.	57
Figura 38. Crecimiento pronosticado de FTTH para mejora del ancho de banda.	57
Figura 39. Diagrama de flujo del diseño de una red de acceso FTTH.	62
Figura 40. Evolucion de tecnologías Gpon y Epon.	65
Figura 41. Plano catastral de ubicación de MDGAL.	66
Figura 42. Delimitación del sector 10 MDGAL.	67
Figura 43. Identificación en Google Map del sector 10.	67
Figura 44. Área de diseño.	68
Figura 45 Plano catastral de población seleccionada.	68
Figura 46. Distribución de la asociacion de vivienda Ciudad de Paz.	70
Figura 47. Distribución en las asociaciones de vivienda Virgen de la Candelaria y Paseo de los Héroes.	72
Figura 48. Distribución en la asociación de Vivienda Villa Colonial.	72
Figura 49. Distribución de asociacion de Vivienda Ciudad Futura, la Joya, El Comerciante y El Nazareno.	74
Figura 50. Distribución en asociaciones Los Florales, Ex Combatientes del Cenepa, La Perla y Los Geranios.	77
Figura 51. Conexión de acceso a internet fijo según velocidad de transmisión.	82
Figura 52. Topología de la Red Nap Perú (Asociacion de operadores y proveedores de internet).	82
Figura 53. Arquitectura de red FTTH.	83
Figura 54. Arquitectura FTT – GPON.	89
Figura 55. Diagrama lógico de topología del proyecto.	90
Figura 56.. Topología óptica de arquitectura de RED FTTH.	91
Figura 57. SPAM óptico.	92
Figura 58. Red troncal.	93
Figura 59. Red distribución.	93
Figura 60 Red acceso.	94

Figura 61. Imagen de Calculator Link Budget PON de Huawei.....	101
Figura 62. Vista frontal equipo terminal OLT.....	102
Figura 63. Vista frontal tarjeta del modulo SFP.....	103
Figura 64. Módulo óptico SFP para tecnología Gpon.....	104
Figura 65. Código del cable ADSS.....	108
Figura 66. Cable de fibra óptica ADSS 96/48/24 SMF. ....	108
Figura 67. Divisor óptico 1x4 Tipo PLC.....	109
Figura 68. Caja de terminación óptica CTO. ....	110
Figura 69. Divisor óptico 1x16 tipo PLC. ....	111
Figura 70. Caja de terminación óptica o roseta óptica. ....	111
Figura 71. Vista de planta equipo terminal de red.....	112
Figura 72. Vista perfil de puertos de equipo terminal ONT.....	112
Figura 73. Imagen de cable de fibra óptica tipo drop. ....	114

## Índice de tablas

Tabla 1. Factores en la atenuación. ....	33
Tabla 2. Características técnicas de atenuación en divisores ópticos PLC. ....	48
Tabla 3. Parámetros para certificar una red FTTH GPON (ITU-T G.984.x).....	50
Tabla 4. Coexistencia de tecnologías xPON .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 5: Ejemplo del cálculo de ancho de banda .....	60
Tabla 6. Total de viviendas por manzana en Asoc. Ciudad de Paz.....	69
Tabla 7. Total de viviendas por manzana en Asoc. Virgen de la Candelaria.....	70
Tabla 8. Total de viviendas por manzana de Asoc. Paseo de Los Heroes.....	71
Tabla 9. Total de viviendas por manzana en Asoc. Villa Colonial. ....	73
Tabla 10. Total de viviendas por manzana en Asoc. Ciudad Futura. ....	75
Tabla 11. Total de viviendas por manzana en Asoc. El Comerciante.....	75
Tabla 12. Total de viviendas por manzana en Asoc. La Joya .....	75
Tabla 13. Total de viviendas por manzana en Asoc. El Nazareno .....	76
Tabla 14. Total de viviendas por manzana en Asoc. Los Florales. ....	77
Tabla 15. Total de viviendas por manzana en Asoc. La Perla.....	78
Tabla 16. Total de viviendas por manzana en Asoc. Ex Combatientes del Cenepa.....	78
Tabla 17. Total de viviendas por manzana en Asoc. Los Geranios.....	78
Tabla 18. Consolidado general de viviendas por Asoc. (Muestra de usuarios o suscriptores).....	79
Tabla 19. Requerimiento de Banda Ancha.....	79
Tabla 20. Margen de over booking.....	81
Tabla 21. Calculo de Requerimiento de Mbps (1:1) a Contratar. ....	81
Tabla 22. Características de equipos activos según normativa.....	84
Tabla 23. Características técnica des equipo OLT.....	84
Tabla 24. Características técnicas de equipo ONT. ....	85
Tabla 25. Características técnicas del divisor óptico 1:4. ....	85
Tabla 26. Carácterística tecnica del divisor óptico 1:16. ....	86
Tabla 27. Características técnicas del cable de fibra óptica ADSS. ....	87
Tabla 28. Característica técnica del cable de fibra óptica DROP. ....	87
Tabla 29. Parámetros necesarios para la determinación del cálculo del presupuesto del enlace óptico.....	96
Tabla 30. Parámetros necesarios para la determinación del cálculo del presupuesto del enlace óptico.....	97

Tabla 31. Parámetros necesarios para la determinación del cálculo del presupuesto del enlace óptico.....	98
Tabla 32. Determinación del margen de atenuación óptica para OLT.....	99
Tabla 33. Determinación de Margen de Atenuación Óptica para ONT.....	99
Tabla 34. Cálculo de margen de atenuación óptica con software de Huawei .....	100
Tabla 35. Costo Promedio de la inversión CAPEX.....	116
Tabla 36. Costo total de Opex.....	117
Tabla 37. Flujo de Caja según costo de planes de Mbps por consumo promedio.....	118
Tabla 38. Flujo de caja ingreso anual.....	118
Tabla 39. Planificación de cronograma .....	119

**Índice de Ecuaciones**

Ecuación 1 .....	25
Ecuación 2 .....	27
Ecuación 3 .....	28
Ecuación 4 .....	29
Ecuación 5 .....	29
Ecuación 6 .....	32
Ecuación 7 .....	33
Ecuación 8 .....	36
Ecuación 9 .....	47
Ecuación 10 .....	51
Ecuación 11 .....	60
Ecuación 12 .....	61
Ecuación 13 .....	81

## **RESUMEN**

La investigación que se presenta tiene como objetivo diseñar una red con tecnología FTTH para distribuir servicios de banda ancha en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia de Tacna. Es de tipo experimental y su diseño es cualitativo. Se describen las características técnicas de la tecnología FTTH y la solución al problema de última milla teniendo como variable independiente "la red de acceso con tecnología FTTH" y variable dependiente "los servicios de banda ancha". La solución tecnológica está ambientada en la primera etapa de la zona 10 del distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, la cual beneficiara a 3034 usuarios o suscriptores ubicados en las asociaciones de vivienda de las Pampas de Viñani. Resultados: Se diseñó una red de acceso con tecnología FTTH para distribuir servicios de banda ancha en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa. Asimismo, se dimensionaron los equipos necesarios para satisfacer las necesidades de red de acceso, se realizó el análisis técnico para implementar servicios triple play en banda ancha, empleando una red de acceso, y así proveer mayores posibilidades de acceso a redes de internet y telecomunicaciones a los suscriptores y se desarrolló un módulo para realizar mediciones en fibra óptica.

## **PALABRAS CLAVE**

Ancho de banda, Red Óptica Pasiva Gigabit, Fibra hasta el hogar, Red de acceso, Red de última milla, Banda ancha.

**ABSTRACT**

The research aims to design a network with FTTH technology to distribute broadband services in the Gregorio Albarracín Lanchipa district, Tacna province. It is experimental and its design is qualitative. It describes the characteristics of FTTH technology and the solution to the last mile problem it has as an independent variable "access network with FTTH technology" and a dependent variable "broadband services". The technological solution is adapted in the first stage of zone 10 of the Gregorio Albarracín Lanchipa district, which will benefit 3034 users located in Pampas de Viñani housing associations. Results: a network access with FTTH technology was designed to distribute broadband services in the Gregorio Albarracín Lanchipa district. Likewise, the necessary equipment was sized to meet the needs of the access network, a technical analysis was carried out to implement triple play services in broadband, using an access network and therefore offers greater possibilities of access to the Internet and telecommunication networks subscribers and a module for fiber optic measurements were developed.

**KEYWORDS**

Bandwidth, Gigabit Passive Optical Network, Fiber to the home, Access network, Last mile network, Broadband.

## INTRODUCCIÓN

En el mundo de las telecomunicaciones, los proveedores de servicios en telecomunicaciones están transformando sus redes desplegadas de cobre, realizando proyectos de replanteo con nuevas redes, usando como medio de transmisión fibra óptica, para poder brindar y soportar una mayor cantidad de tasa de bits, altas velocidades, ancho de banda y estabilidad. La mayoría de ellos ya han comenzado construyendo estas conexiones de fibra óptica llamada como “Fibra hasta el hogar” o FTTH por sus siglas en ingles “Fiber to the home”. FTTH es una tecnología que permite brindar una alta velocidad de comunicación a usuarios como; hogares, empresas, colegios, hospitales, etc. De esta forma, FTTH permite brindar los servicios de educación, administración negocios en la nube, domótica, internet de las cosas, video bajo demanda, entretenimiento y todo servicio que requiera de alta velocidad de conexión.

En los últimos años a medida que el uso de un mayor ancho de banda se ha masificado, plataformas de servidores y almacenamiento de datos han migrado a la nube, logrando eficiencia económica y escalabilidad, pero a su vez convirtiéndose en un punto crítico, debido a que es de vital importancia mantener la disponibilidad, integridad, eficiencia del servicio. Debido a esto una red de fibra óptica permite integrar todo servicio que requiera disponibilidad, integridad, eficiencia, sea fiable y seguro, así, una tecnología como FTTH llega a ser una opción viable.

En nuestro país actualmente nos encontramos a la espera de un despliegue descentralizado de redes FTTH para que hogares, empresas, colegios y hospitales adquieran servicios de banda ancha, por tal motivo se optó realizar el presente trabajo de investigación: **DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA FTTH PARA DISTRIBUIR SERVICIOS DE BANDA ANCHA EN EL DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA, PROVINCIA TACNA**

## **CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La creciente evolución tecnológica que se está viviendo ha permitido que casi cualquier dispositivo tenga acceso a internet, el uso de plataformas de comunicación se intensifique, entre otras variables, sin embargo, es notable que una red domestica común no soporte el tráfico generado por estas, es por eso que el acceso a una red de banda ancha se ha convertido en una necesidad en hogares, colegios, pequeñas empresas, hospitales, etc.

Servicios de video, voz y datos avanzan a un nivel acelerado, lo que conlleva a revisar las redes de telecomunicaciones instaladas, observando que estas ya no soportan el ancho de banda y velocidades requeridas para mantener la eficiencia, integridad y disponibilidad de un servicio como se ha evidenciado en los últimos meses en nuestro país.

En nuestra localidad, las empresas proveedoras de servicios de internet ofrecen velocidades de 2Mbps, 4Mbps, 8Mbps, 10Mbps asegurando un 40% de la velocidad contratada. Aun así, siguen siendo inferiores en ancho de banda para los requerimientos de los usuarios suscriptores, teniendo en cuenta además que las empresas operadoras no brindan el servicio de voz, datos y video en lugares alejados de su data center.

### **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Diseñar una red de acceso con tecnología FTTH permitirá distribuir servicios de banda ancha en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia Tacna?

### **1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

La tecnología FTTH, es una red de acceso, usada en una gran cantidad de países alrededor del mundo, implementada incluso en muchos puntos en Latinoamérica, permitiendo la ejecución de los servicios que requieran mayor ancho de banda.

FTTH es una red basada en fibra óptica y divisores ópticos la cual tiene la posibilidad de superar limitaciones que se tiene al usar tecnologías como Híbrido de fibra coaxial. Nuestra investigación está enfocada en el diseño de una red de acceso con tecnología FTTH, donde se encuentra una necesidad de acceso a servicios de banda ancha, el cual incidirá en un cambio socioeconómico. Desplegar una red de acceso FTTH permitirá brindar los servicios de telecomunicaciones en banda ancha requiriendo de una única inversión económica, tendiendo proyección a futuro.

El diseño para esta red de acceso FTTH tendrá un costo que deberá ser reflejado en su calidad y capacidad de prestación de servicios de telecomunicaciones en banda ancha.

La instalación de nuevas tecnologías en los hogares brinda una mayor calidad de vida, dando lugar a un valor agregado a las propiedades (inmuebles).

Además, ejerce un cambio en tema de seguridad para el hogar y locales comerciales y un avance sobre temas de salud en el campo de la telemedicina, con lo cual se podrán realizar consultas, diagnósticos o cirugías a distancia, en tiempo real y con gran calidad de servicio.

#### **1.4. OBJETIVO**

Diseñar una red de acceso con tecnología FTTH para distribuir servicios de banda ancha en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia Tacna.

##### **1.4.1. Objetivos específicos**

- Dimensionar y seleccionar los equipos necesarios para la red de acceso.
- Aplicar el estándar GPON (Red óptica pasiva – Gigabit) para el diseño de la red de acceso.
- Realizar un análisis técnico para implementar servicios Triple Play en banda ancha, empleando una red de acceso FTTH.
- Proveer mayores posibilidades de acceso a las redes de internet y telecomunicaciones para suscriptores como: hogares, colegios, medianas y pequeñas empresas.

#### **1.5. HIPÓTESIS**

El Diseño de una red de acceso con tecnología FTTH permite distribuir servicios de banda ancha en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia Tacna

##### **1.5.1. Hipótesis específica**

- El dimensionamiento de la red de acceso FTTH permite soportar la implementación de servicios de banda ancha en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa.
- El equipamiento seleccionado para la implementación de la red de acceso permite soportar la implementación de una red FTTH.
- El análisis de presupuesto óptico para los enlaces entre la central y suscriptor es factible para el diseño de la red de acceso FTTH.
- La topología de red diseñada permite soportar la implementación de servicios triple play.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se tiene como objetivo describir los conceptos básicos de los componentes de una red de acceso de fibra hasta el hogar (Fiber to the home, FTTH), bajo el estándar de red óptica pasiva gigabit (Gigabit pasive Optical network, GPON) y la importancia de la inserción de esta tecnología. Asimismo, se busca proporcionar los datos a nivel de ingeniería para el diseño de una red de acceso de fibra hasta el hogar y los conceptos que se deben de considerar el diseño de redes de acceso con esta tecnología.

### **2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO**

Chayña Burgos, J. (2017). Planteo la tesis en el Diseño de una red de acceso FTTH utilizando estándar GPON para la empresa AMITEL S. A. C. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

El trabajo realizado por Chayña plantea como objetivo el diseño de una red FTTH para la empresa que brinda servicios en telecomunicaciones. Su trabajo se basó en el estándar GPON, detallando los componentes de la tecnología FTTH. Además, se consideran las recomendaciones de fabricantes y empresas que desarrollan la tecnología FTTH, y finalmente realizó el diseño de la red para una población de 1500 casas aproximadamente, teniendo la capacidad para transmitir servicios de telecomunicaciones como internet de alta velocidad, telefonía fija, IPTV, OTT, VOD. Servicios que la empresa pretende ofrecer con la red diseñada.

López Polo, E. (2016). Realizo el trabajo de tesis en el Diseño de una red de fibra óptica para la implementación en el servicio de banda ancha en Coishco (Ancash). (Tesis de pregrado). Universidad de Ciencias y Humanidades. Lima, Perú.

El trabajo realizado por López tiene la finalidad de mostrar las características de transmisión de los nuevos sistemas de datos basados en redes con cables de fibra óptica y los beneficios en comparación con las tecnologías basadas en cobre, de tal manera que pretende determinar el tipo más adecuado de red para el distrito Coishco, además de dar a conocer los beneficios y recomendaciones necesarias para la instalación tanto para los proveedores y clientes de este tipo de servicios que ocuparán las futuras redes. De tal manera se garantizará la inversión, ofreciendo una mejor calidad de servicio para

los clientes y menor gasto en su mantenimiento durante la operación de estas redes de fibra óptica.

## **2.2. BASE TEÓRICA**

### **2.2.1.Fibra óptica**

Es una guía de onda fabricada a partir un material altamente transparente, que permite transportar una alta tasa de información en forma de luz (señal óptica). Sin embargo, al comienzo fue poco práctico usar fibra óptica en redes de comunicación debido a las altas pérdidas que tenía en sus inicios (~1000dB/km). Debido a su continuo estudio en 1979 una investigación logró obtener 0.2dB/Km cerca de la región espectral de 1,55 $\mu$ m. La baja atenuación presentada en la fibra condujo a una revolución en el mundo de las telecomunicaciones.

### **2.2.2.Ventajas de la fibra óptica**

- **Ancho de banda:** Como se sabe la capacidad de transportar información crece con el ancho de banda del medio de transmisión y con la frecuencia de la portadora. La fibra óptica tiene un ancho de banda de algunas decenas de THz, superando ampliamente a un cable de cobre o un medio inalámbrico.
- **Bajas pérdidas:** La fibra óptica ofrece una baja disminución de la potencia óptica incrementando la distancia útil a la cual la información puede ser enviada.
- **Inmunidad electromagnética:** Debido a que la fibra óptica no irradia ni es sensible a la radiación electromagnética, la hace un medio de transición ideal cuando los problemas a considerar son las interferencias electromagnéticas.
- **Seguridad:** Es muy difícil intervenir una fibra y virtualmente imposible hacer la intervención, por ellos su uso militar es amplio.
- **Bajo peso:** Una ventaja clara sobre otros medios alámbricos es el peso, el cual es considerablemente menor y con prestaciones superiores.

### **2.2.3.Espectro electromagnético**

La señal óptica al ser un impulso de luz, es considerado como una onda electromagnética, debido a esto, las señales ópticas tienen un espacio reservado dentro del espectro electromagnético desde los 800nm hasta los 1600nm, teniendo como frecuencias de trabajo comunes 1550nm, 1300nm, y 850nm.

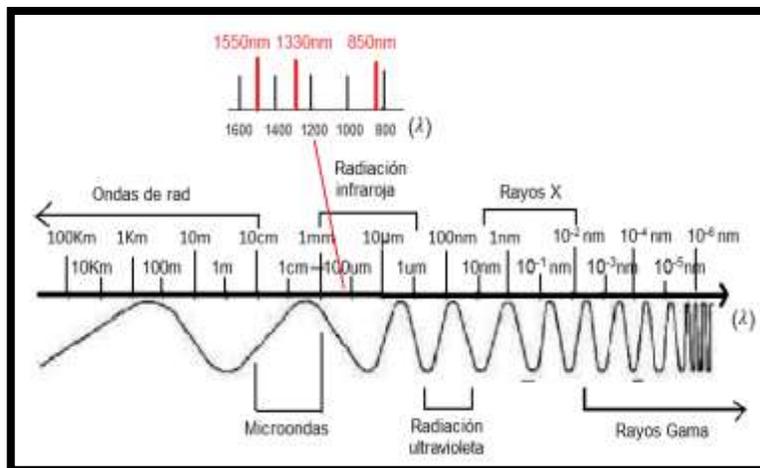


Figura 1. Espectro electromagnético.

Fuente: Elaboración propia.

La teoría ondulatoria nos dice que:

$$\text{Ecuación 1: } \lambda = c/f$$

$[\lambda]$ : Longitud de onda

$[c]$ : Velocidad de la luz en el vacío  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

$[f]$ : Frecuencia

Las zonas espectrales de trabajo en las que se centran los desarrollos actuales de los sistemas de transmisión por fibra óptica se encuentran en el infrarrojo cercano. Inicialmente por la calidad de fabricación de la fibra óptica, se localizaron zonas o intervalos del espectro con mejores características de comunicación, zonas denominadas comercialmente “ventanas”. Estas sitúan espectralmente la energía luminosa que es posible de generar, transmitir y detectar con máxima eficiencia y confiabilidad.

La denominada “primera ventana”, en la cual se lograron los primeros desarrollos, se encuentra en un rango del espectro electromagnético entre 800nm y 900nm. La “segunda ventana” cuya aplicación se ha hecho extensiva en gran escala a nivel mundial, se encuentra alrededor de 1300nm. La “tercera ventana” es una de las de mayor interés, se encuentra alrededor de 1550nm. La “cuarta ventana” se encuentra a continuación de la tercera ventana alrededor de 1620nm.

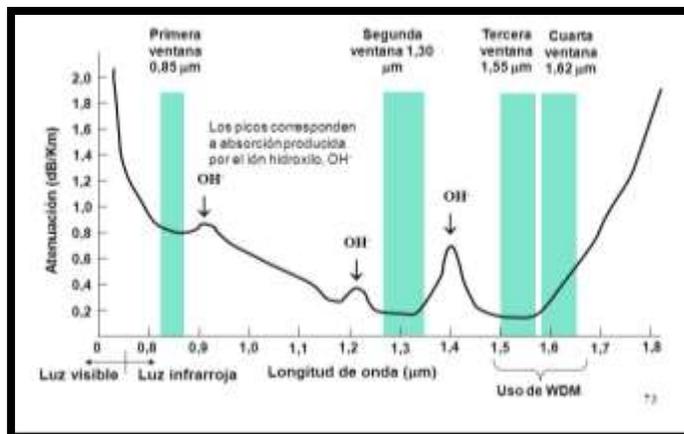


Figura 2. Atenuación en la fibra según la longitud de onda.

Fuente: Rogelio Montañana Dpto. Informática universidad de Valencia.

#### 2.2.4. Propagación de la luz en la fibra óptica

La fibra óptica al ser una guía de onda que transporta información mediante impulsos de luz, se ve afectada por los fenómenos ópticos de reflexión y refracción.

La refracción se presenta como el cambio de dirección que experimenta un impulso de luz al cambiar de un medio de propagación a otro, el cual genera dos rayos uno reflejado y otro refractado.

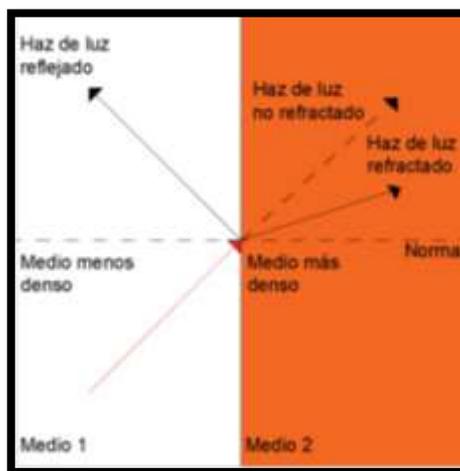


Figura 3. Refracción de la luz.

Fuente: Elaboración propia.

Un parámetro importante es el índice de refracción que se define como la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio, en este caso la fibra óptica.

$$\text{Ecuación 2: } n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon_r}$$

- [ $n$ ]: Índice de refracción.  
 [ $c$ ]: Velocidad de la luz en el vacío.  
 [ $v$ ]: Velocidad de la luz en el medio.  
 [ $\epsilon_r$ ]: Permitividad relativa del medio.

La refracción también se encuentra definida por dos leyes:

a) Primera ley de refracción

La primera ley de refracción también conocida como ley de reflexión total interna nos dice que el rayo de luz incidente, la normal y el rayo de luz reflejado se encuentran en el mismo plano. Para esto se cumple que:

El ángulo de incidencia  $\theta_i = \theta_r$  *ángulo reflejado*



Figura 4. Primera ley de refracción (Reflexión total interna).

Fuente: Elaboración propia

b) Segunda ley de refracción

La segunda ley afirma que el ángulo de incidencia " $\phi_i$ " y el ángulo de refracción " $\phi_t$ " están relacionados por la ley de Snell, la cual explica cómo un rayo de luz se inclina cuando cambia el índice de refracción  $n_1$  a otro de menor índice  $n_2$ .

$$\text{Ecuación 3: } n_1 \text{sen}(\phi_i) = n_2 \text{sen}(\phi_t)$$

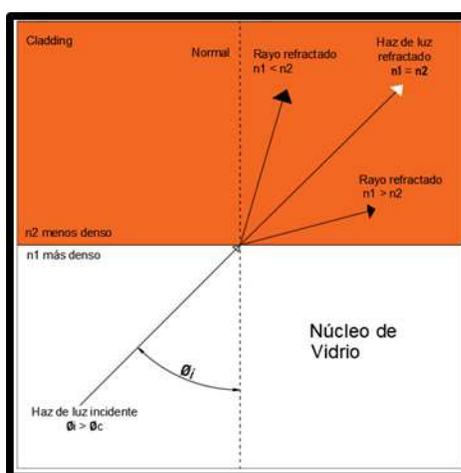


Figura 5. Ley de Snell.

Fuente: Elaboración propia.

El ángulo  $\phi_t$ , es el ángulo del haz de luz refractado con respecto a una línea normal límite entre los dos medios. Si el ángulo de incidencia es menor de  $90^\circ$  ( $n_1 > n_2$ ), donde  $n_1$  pertenece al núcleo y  $n_2$  pertenece al revestimiento, se produce la reflexión total interna.

Cuando un rayo de luz pasa a través de la superficie de separación entre dos medios, desde un medio con un índice de refracción alto a un medio con un índice de refracción más bajo, el rayo se refracta en la superficie al pasar al segundo medio. A medida que aumenta el ángulo de incidencia del rayo de luz, se alcanza un punto en el cual ya no se refracta más el rayo de luz en el segundo medio y es completamente reflejado de vuelta al primer medio. Esto se denomina "Reflexión total interna", y el ángulo para el cual esto ocurre se denomina ángulo crítico.

$$\text{Aplicando la ley de Snell: } n_1 \text{sen}(\phi_i) = n_2 \text{sen}(\phi_t)$$

$$\phi_t = 90^\circ$$

$$n_1 \text{sen}(\phi_i) = n_2 \text{sen}(90)$$

$$\text{sen}(\varphi_i) = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\text{Ecuación 4: } \varphi_i = \text{sen}^{-1} \frac{n_2}{n_1}, \quad \varphi_i = \varphi_c$$

Para que se produzca la reflexión total interna, hay que controlar el ángulo incidente que entra en el núcleo restringiendo la apertura numérica, la apertura numérica es el rango de ángulos de incidencia. El ángulo de aceptación se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Ecuación 5: } \varphi_a = \text{sen}^{-1} NA$$

$[\varphi_a]$ : Ángulo de aceptación.

$[NA]$ : Apertura numérica.

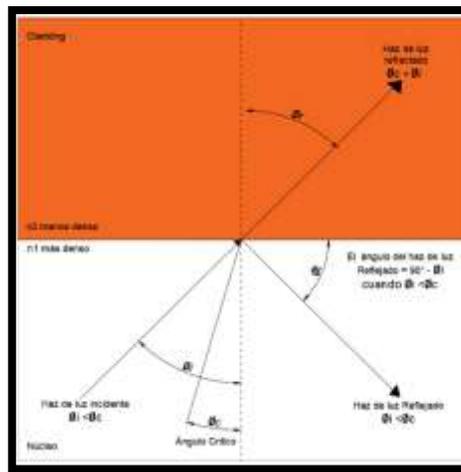


Figura 6. Ángulos de refracción y reflexión.

Fuente: elaboración propia

En conclusión, para cualquier ángulo  $\varphi_i < \varphi_c$  la luz se refleja totalmente, siendo el principio básico de la propagación de la información dentro la fibra óptica.

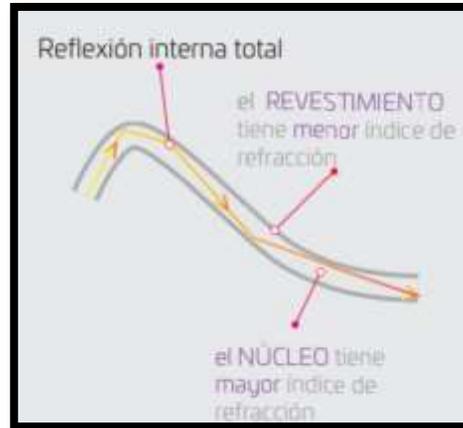


Figura 7. Reflexión total interna.

Fuente: (Commoscope, 2018).

### 2.2.5. Tipos de fibra óptica

Dependiendo de la forma de propagación de la onda al interior de la fibra óptica, esta puede ser monomodo o multimodo

- a) Fibra óptica monomodo (Single-Mode, SM)

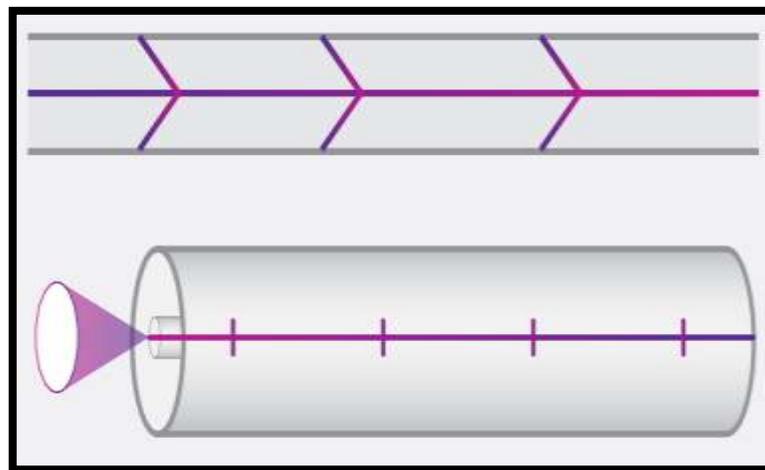


Figura 8. Modo de transmisión monomodo.

Fuente: (Commoscope, 2018)

La fibra óptica multimodo solo admite la propagación de una longitud de onda conocida como el modo fundamental de la fibra óptica. Además, su longitud de onda de trabajo es casi igual al diámetro del núcleo de la fibra óptica, de tal manera que los modos

de orden superior se corten en la longitud de onda operativa. Debido a esto, un solo haz de luz infrarrojo puede atravesar la fibra óptica monomodo.

El principal parámetro de la fibra monomodo está determinado por el diámetro del campo modal (Mode field diameter, MFD). Donde se concentra el 13.5% de su potencia óptica con relación al 100% del total del diámetro del núcleo de la fibra óptica.

De igual manera el MFD varía en función de la longitud de onda a utilizar, normalmente los valores se encuentran entre  $7.3\mu\text{m}$  y  $13\mu\text{m}$ , los diámetros físicos del núcleo se encuentran entre  $7\mu\text{m}$  y  $11\mu\text{m}$ , aproximadamente.

En la figura 9 podemos observar la curva de distribución de la potencia óptica. Es importante considerar el valor del MFD definido por el fabricante al momento de enfrentar y fusionar dos tipos de fibra óptica monomodo, por tal motivo se debe considerar en un proyecto donde el medio de transmisión sea la fibra óptica monomodo, un solo valor de MFD, así no se ocasionará una desadaptación del haz de luz y provocar atenuación por una mala práctica. Por esta razón un fabricante de fibra se rige bajo la norma G.652 un estándar para mantener la convergencia entre distintas marcas manteniendo un valor estipulado de MFD entre  $8.6\mu\text{m}$  a  $9.5\mu\text{m}$ .

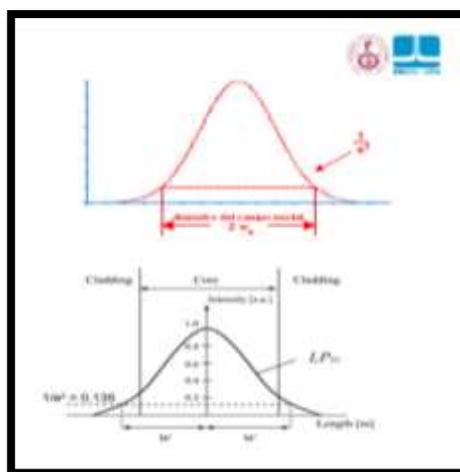


Figura 9. Diámetro de Campo Modal (MFD) en Fibra monomodo.

Fuente: INICTEL-UNI.

El área que ocupa el MFD, se le denomina como área efectiva ( $A_{\text{eff}}$ ) de la fibra óptica, con él se obtiene el valor de umbral de máxima potencia que puede ingresar a la fibra óptica.

$$\text{Ecuación 6: } A e^{j\beta z} = k \pi w^2$$

[K]: Factor de corrección

[w]: MFD

Fibra G-652  $k = 0,955 - 0,965$

Fibra G-653  $k = 0,945 - 0,960$  Para la región de 1550 nm

b) Fibra óptica multimodo (Multi-Mode, MM)

La fibra óptica multimodo tiene un núcleo más grande en comparación con la fibra óptica monomodo, lo que hace más fácil el trabajo con esta, además de presentar un menor costo en su implementación. Sin embargo, la fibra multimodo transmite datos en una distancia mucho más corta. Teniendo aplicaciones de radiodifusión, transmisión de audio, video de corta distancia, redes de área local y comúnmente usada en centro de datos.

Los inconvenientes que presenta la fibra óptica monomodo se deben a que permite la propagación de muchos modos, sufriendo de dispersión modal, resultando en la limitación de su ancho de banda y distancia de transmisión de ahí solo su uso en planta interna.

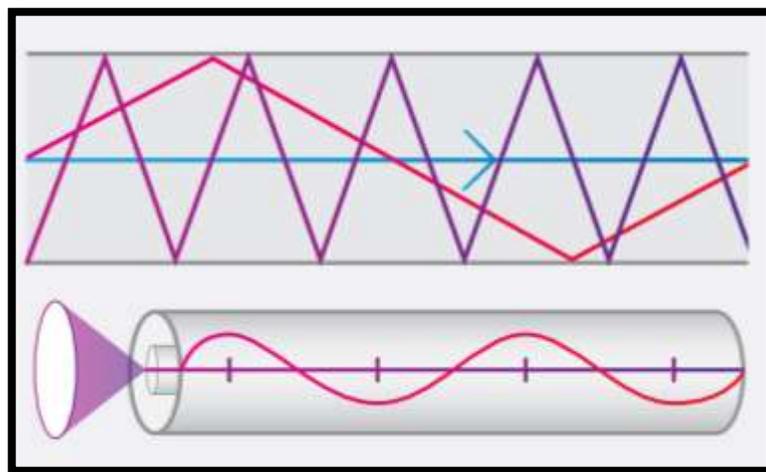


Figura 10. Modo de transmisión monomodo.

Fuente: (Commoscope, 2018)

### 2.2.6. Atenuación en la fibra óptica

La atenuación está representada por una reducción de la potencia de transmisión a lo largo de todo el enlace. Las pérdidas más bajas se encuentran para las longitudes de onda más altas, que se usan frecuentemente para transmisiones de larga distancia.

$$\text{Ecuación 7: Atenuación (dB/Km)} = \left(\frac{10}{L}\right) \log_{10} \left(\frac{P_{tx}}{P_{rx}}\right)$$

Dónde:

[L]: Distancia en Km

[Ptx]: Potencia de transmisión

[Prx]: Potencia de recepción

Las especificaciones de una fibra óptica expresan las pérdidas de la fibra (coeficiente de atenuación) como la atenuación en dB para un kilómetro de longitud (dB/Km). La atenuación de la fibra es un valor normalizado por el fabricante.

Según Chomycz (2001), las pérdidas de potencia se agrupan en dos secciones. Pérdidas de potencia extrínseca e intrínseca. A continuación, detallamos en un cuadro el detalle de las atenuaciones producidas en la fibra óptica.

Tabla 1. Factores en la atenuación.

Intrínsecos (Fabricación)	Extrínsecos (Instalación)
Absorción del material	Pérdidas debido a curvaturas
Dispersión (esparcimiento)	Pérdidas debido a micro curvaturas
Scattering Rayleigh	Mala práctica en instalación

Fuente: Chomycz (2001).

#### 2.2.6.1. Atenuación por factores intrínsecos

Las pérdidas en los cables de fibra óptica representan otro factor limitante, porque reducen la potencia de la señal que llega al receptor. Como los receptores ópticos necesitan una cierta cantidad mínima de energía, la distancia de transmisión está limitada intrínsecamente por las pérdidas de la fibra. Las longitudes de onda más cortas son las que más se atenúan. Estas representan un promedio del 96% en la atenuación en un cable de fibra óptica.

- a) Absorción del material: Este tipo de atenuación es ocasionada por la interacción entre los fotones que viajan dentro de la fibra óptica y las partes moleculares que

conforman el núcleo. La energía que es absorbida en la zona de las moléculas de sílice y en su trayectoria se encuentra con los fotones y estas producen vibraciones entre sí mismas.

- b) **Dispersión (esparcimiento):** En la tecnología FTTH está presente este fenómeno porque las señales viajan en diferentes tiempos, diferentes longitudes y modos dependiendo el tipo de fibra produciendo el esparcimiento, ensanchamiento, distorsión de los pulsos y la reducción de calidad de la transmisión de allí una de las limitantes de la distancia de transmisión.
- **Dispersión modal:** Es causada por los diferentes retardos entre los modos produciendo un ensanchamiento de la señal, este fenómeno solo está presente en la fibra óptica multimodo.
  - **Dispersión cromática:** Es consecuencia de transmitir en diferentes longitudes de onda y es causada por la falta de mono cromaticidad, deformando los pulsos transmitidos provocando un ensanchamiento, este fenómeno ocurre en largas distancias de transmisión y su parámetro técnico es:

$$\text{Coeficiente de dispersión cromática} = ps/nm.Km$$

Normalmente en las longitudes de onda de 1285-1330 nm =  $\leq 3.5$  y 1550 nm =  $\leq 18.0 ps/nm.Km$

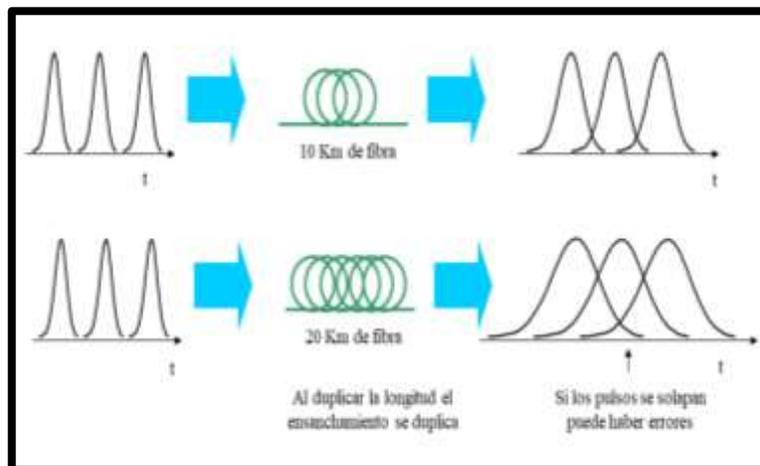


Figura 11. Fenómenos de ensanchamiento a causa de la dispersión.

Fuente: [https://www.aulaclac.es/redes/secuencias/p02\\_04\\_08\\_dispersion\\_yt.htm](https://www.aulaclac.es/redes/secuencias/p02_04_08_dispersion_yt.htm).

- **Dispersión por modo de polarización:** Ocurre cuando dos componentes ortogonales de polarización (un modo de polarización lento y otro rápido),

viajan a través de la fibra a diferentes velocidades y llegan al receptor en tiempos diferentes. En las hojas técnicas de un fabricante de fibra óptica el parámetro de dispersión por modo de polarización lo encontramos como  $ps/\sqrt{km} = \leq 0.2$ . Es muy importante el control y verificación de dicho parámetro, ya que limita las prestaciones en altas capacidades como 10Gbps en fibra monomodo.

- c) **Dispersión de Rayleigh:** Es provocada por la onda de luz que al ingresar a la fibra óptica colisiona con los átomos produciendo un esparcimiento, llamado dispersión de Rayleigh.

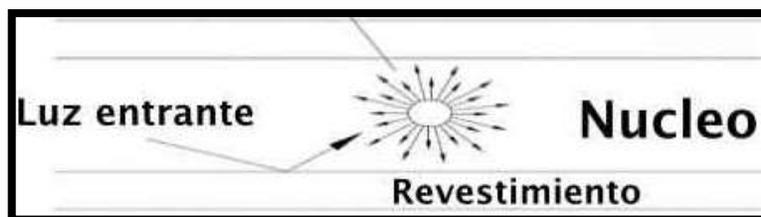


Figura 12. Dispersión de Rayleigh.

Fuente: Elaboración Propia.

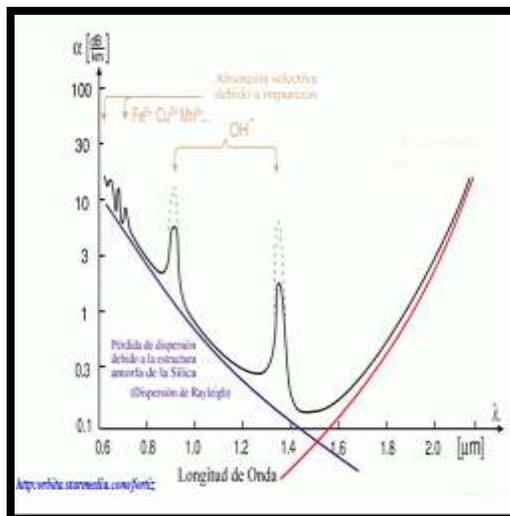


Figura 13. Curva de atenuación por factores intrínsecos.

Fuente: [lafibraoptica.com/la-atenuacion-de-la-fibra-optica/tema08-fig02/](http://lafibraoptica.com/la-atenuacion-de-la-fibra-optica/tema08-fig02/).

#### 2.2.6.2. Atenuación por factores extrínsecos

Causado por los fenómenos externos en los cables de fibra óptica, están presentes por motivos de curvaturas y micro curvaturas, además por causas de mala práctica del proceso de transporte y mala instalación.

- a) Pérdidas por macro curvatura: Una curvatura en la fibra óptica resulta en una pérdida de potencia, la cual puede ser significativa en un enlace de larga distancia, además afecta al índice de refracción y ángulo crítico del haz de luz. Para evitar dicha atenuación es necesario tener en cuenta el radio máximo de curvatura que se encuentra en la hoja técnica de cada fabricante.

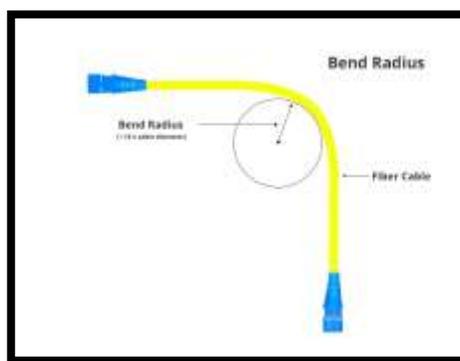


Figura 14. Radio máximo de curvatura.

Fuente: <https://medium.com/>

- b) Pérdidas por micro curvatura: Una curvatura a menor escala, la presión de los cables de fibra, dilatación a causa de temperaturas extremas y estrés durante la instalación de la fibra óptica generan una pérdida en la potencia de transmisión.
- c) Pérdidas por conexión y fusión: el resultado de enfrentar dos fibras ópticas y fusionarlas genera una pérdida normalmente entre 0.2dB a 1dB. Al enfrentar dos conectores con un acoplador la pérdida generada se encuentra entre 0.3dB a 1.5dB, esta pérdida se le conoce como Reflexión de Fresnel. La reflexión de Fresnel ocurre en cualquier frontera óptica donde cambie el índice de refracción, provocando que el haz de luz incidente sea reflejado al primer medio.

$$\text{Ecuación 8. Luz reflejada (\%)} = 100 \times \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2}$$

[n1]: índice de refracción del núcleo.

[n2]: índice de refracción del aire.

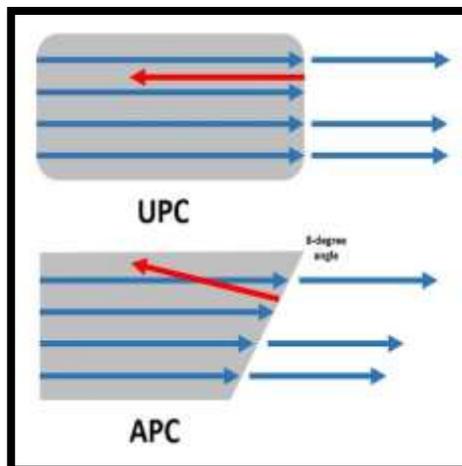


Figura 15. Reflexión de Fresnel.

Fuente: <http://www.3rd-party-transceiver.com/info/what-is-the-pc-upc-apc-connector-27192400.html>.

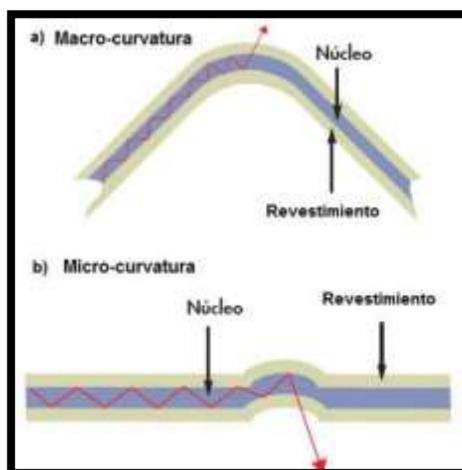


Figura 16. Radio máximo de curvatura.

Fuente: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/24343/articulomod.pdf>.

### 2.2.7. Topología y tecnología FTTH

La arquitectura de red está referida al diseño físico y lógico de una red de comunicación, FTTH nos propone un marco para el diseño de una red de acceso en planta externa, que va desde los componentes físicos hasta los servicios a soportar por dicha red. La red de acceso es la infraestructura fundamental para la red de

comunicación que se conecta directamente a los suscriptores finales. Para especificar el conjunto de engranajes que conforman la infraestructura pasiva y activa, es importante hacer una clara distinción entre las topologías utilizadas para el despliegue de la fibra óptica, (infraestructura de red con componentes pasivos) y las tecnologías utilizadas para amplificar, recomponer, transportar datos a través de la fibra (el equipamiento de componente activo). Las dos topologías conocidas y más utilizadas son punto a multipunto (P2MP), que a menudo se combina con un componente pasivo para la tecnología de red óptica (PON) y punto a punto (PTP), que generalmente usa la tecnología de transmisión Ethernet.

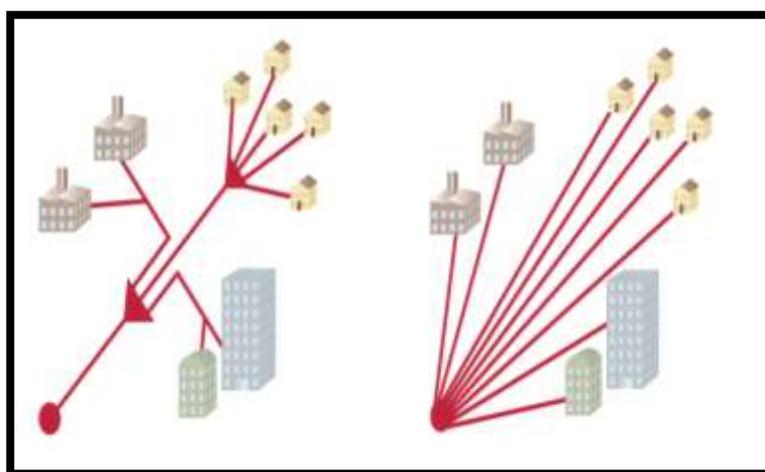


Figura 17. Topologías en tecnologías FTTH.

Fuente: FTTH Handbook Edition 7 D&O Committee Revision date: 16/02/2016.

#### 2.2.7.1. Topología punto a multipunto

FTTH para redes con topología punto multipunto, brinda un solo hilo de fibra óptica desde la oficina central. Parte desde el equipo terminal de línea óptico (Optical line terminal, OLT), luego este hilo de fibra llega a un punto de ramificación, un equipo pasivo que es el divisor óptico (puede ser de 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64 y 1:128 divisiones), luego la fibra llega al usuario final terminando con la unidad de red óptica (Optical network unit, ONU).

Una tecnología de red óptica pasiva como GPON utiliza divisores ópticos pasivos en el punto de ramificación y la información está codificada de tal manera que los usuarios sólo reciben información destinada a su ONU.

### 2.2.7.2. Topología punto a punto

Proporciona una fibra, una conexión directa con un hilo de fibra dedicada, desde la oficina central hasta el usuario suscriptor. Cualquiera que sea la arquitectura de red, es importante considerar cómo el diseño puede afectar en la evolución de la red en el futuro. La fibra óptica tiene un promedio de vida de 25 años, sin embargo, la vida útil será probablemente mucho más larga en comparación con los equipos activos que requieran actualizar varias veces en su infraestructura, software, etc.

Debido a esto se deberá tomar mucha importancia en el tipo de topología a implementar en una red de acceso con tecnología FTTH. (FTTH Council Europe, 2016)

### 2.2.8. Capas de red

Una red de acceso FTTH puede contener varias capas diferentes:

- La infraestructura de red pasiva involucra varios componentes desde el cable de fibra óptica, hasta la caja de empalme, divisor óptico, caja de terminación óptica y elementos ferretería externa.
- La infraestructura de red activa utiliza equipos electrónicos que dependen de energía eléctrica para poder brindar los servicios que proporcionan conectividad a redes de internet y gestión de servicios como video de IPTV.
- Los suscriptores finales también pueden incluirse en una capa de red, como una capa adicional. De igual manera se puede tener una capa de servicios menores.

La estructura tecnológica está unida de tal manera que su organización permita la operación en redes FTTH.

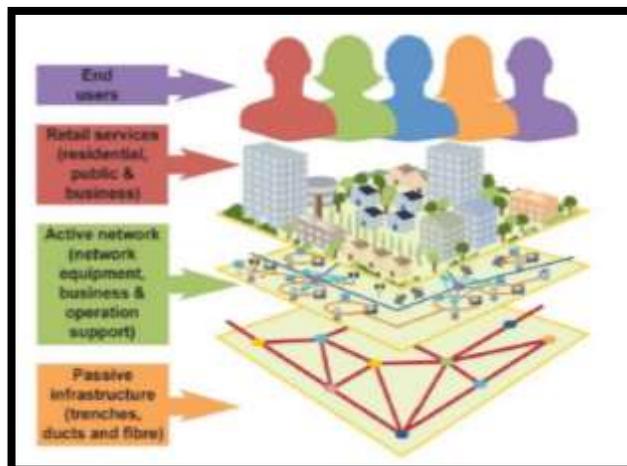


Figura 18. Capas en redes FTTH.

Fuente: Alcatel-Lucent

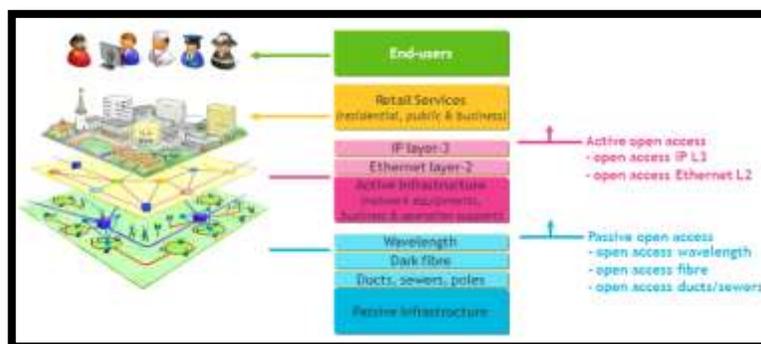


Figura 19. Capas y modelos de red FTTH.

Fuente: Alcatel-Lucent

### 2.2.9. Arquitectura de red FTTx

La diversidad de arquitectura de redes FTTx es posible a la capacidad de prestaciones técnicas del cable de fibra óptica y el número de hilos de fibra óptica en cada cable, la posición o ubicación dentro de la arquitectura de red de los componentes pasivos, de igual manera para su ramificación y puntos de agregación. Para elegir una adecuada arquitectura de red de fibra óptica se presentan varios parámetros técnicos a considerar, dentro de la variedad de arquitecturas es posible adaptar las soluciones para diferentes escenarios.

- **FTTH (Fiber-to-the-home):** En la arquitectura FTTH los suscriptores están conectados a una red de planta externa llamada red de acceso conectado a

primer y segundo nivel de división óptica pasiva, utiliza un solo hilo de fibra óptica para varios suscriptores.

- FTTO (Fiber-to-the-office): En la arquitectura FTTO la conexión de fibra óptica llega hasta la oficina, Es similar a FTTH con la configuración para nivel empresarial con plataformas de Videoconferencia, Voz sobre IP, etc.
- FTTB (Fiber-to-the-building o Fiber-to-the-basement): En la arquitectura FTTB o fibra hasta la acometida del edificio, la fibra óptica normalmente termina en un punto de distribución para poder brindar los servicios a un edificio, esta arquitectura permite reutilizar la infraestructura de red del edificio.
- FTTP (Fiber-to-the-premises): Esta arquitectura es posible utilizarla para asignar redes FTTH y FTTB en la cual incluye suscriptores de viviendas y suscriptores de pequeños negocios.
- FTTN (Fiber-to-the-node). En FTTN o fibra hasta el nodo, la fibra óptica termina en una central del operador de telecomunicaciones que presta los servicios a nivel proveedor de servicios de internet (ISP), proveedor de servicios de internet inalámbrico (WISP) o un operador de TV cable.
- FTTC (Fiber-to-the-cabinet o fiber-to-the-curb): Similar a FTTN, con la diferencia que es usado para pequeñas distancias.
- FTTA (Fiber-to-the-antenna): Fibra hasta la antena es una arquitectura de conexión de alto rendimiento desde la estación hasta la antena, por la demanda de RAN (Radio Access Network) de redes móviles LTE.

Debido a los problemas presentados por la gran demanda de ancho de banda, la tecnología óptica puede ofrecer de 10 a 100 veces más ancho de banda sobre una mayor área de cobertura, desplegando fibra óptica en segmentos troncales, metropolitanos y centrales, es posible ofrecer un ilimitado ancho de banda para la transmisión a largas distancias y finalmente haciendo llegar fibra óptica a hasta cada hogar o suscriptor.

En la arquitectura de Red FTTH típica, se tiene la oficina central (CO, denominada como la cabecera), la telefonía pública conmutada (PSTN), servicios de internet los cuales se interconectan con la red de distribución óptica (ODN) mediante un terminal de línea óptico (OLT). Las OLTs son usadas para transmitir información de voz y datos. Los servicios de video RF son procesados de analógico a digital, luego la señal es combinada por el acoplador WDM y se transmiten juntas de forma descendente. (EXFO, 2012)

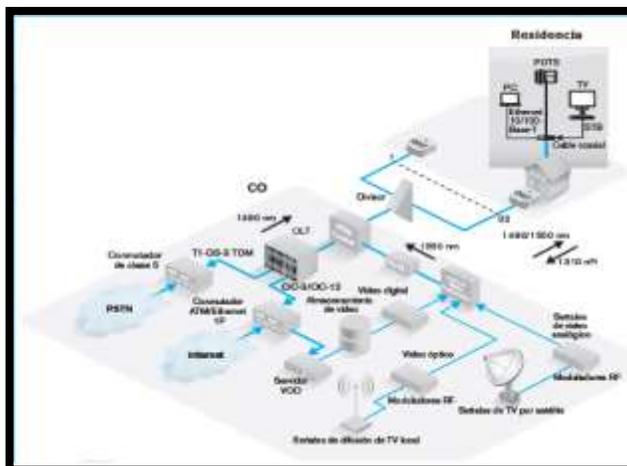


Figura 20. Arquitectura general de una red FTTH

Fuente: [www.exfo.com](http://www.exfo.com)

Las longitudes de onda (1310, 1490 y 1550 nm) transportan de forma simultánea diferente información en varias direcciones todo sobre la misma fibra. Un cable de fibra óptica para este caso denominado F1, transporta las señales ópticas entre la CO y el divisor óptico; esto permite conectar varios ONTs a la misma fibra de entrada. Es necesario una ONT para cada abonado, la cual proporciona conexiones para los distintos servicios (voz, datos y video). Hay diferentes arquitecturas para conectar abonados a la PON, una de la más sencilla puede ser utilizando un solo divisor óptico, pero también se puede emplear múltiples divisores. (EXFO, 2012)

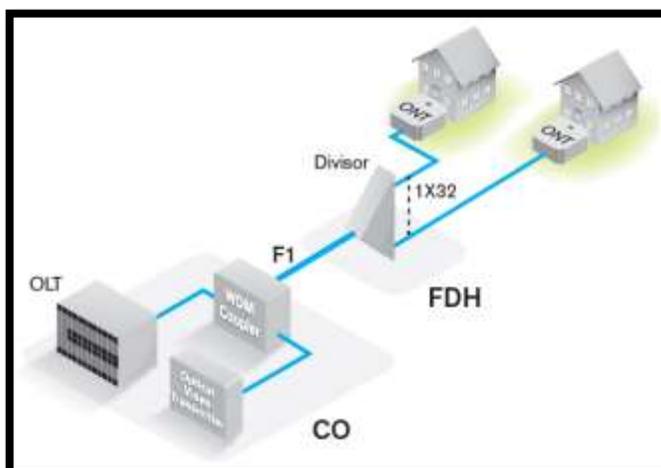


Figura 21. Arquitectura de una red de etapa única.

Fuente: (EXFO, 2012)

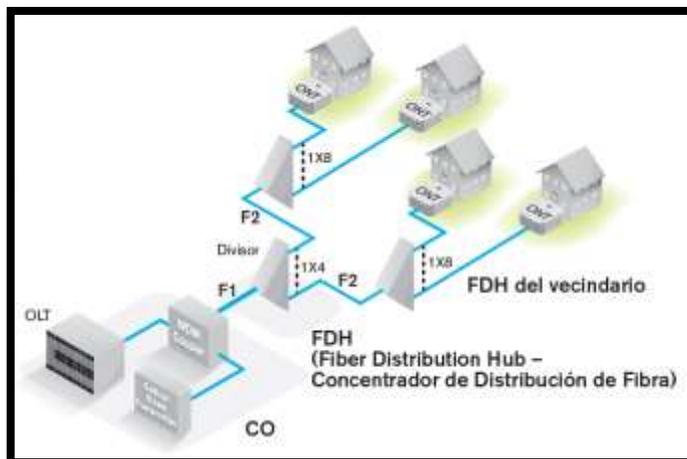


Figura 22. Arquitectura de red de dos etapas en FTTH

Fuente: (EXFO, 2012)

### 2.2.10. Componentes de una red PON

Una red PON está compuesta por la integración de dispositivos pasivos que comunican al equipo terminal con la central, iniciando desde el abonado, recorriendo la red de distribución, red de acceso y la red alimentación, colocadas en forma subterránea o aérea.

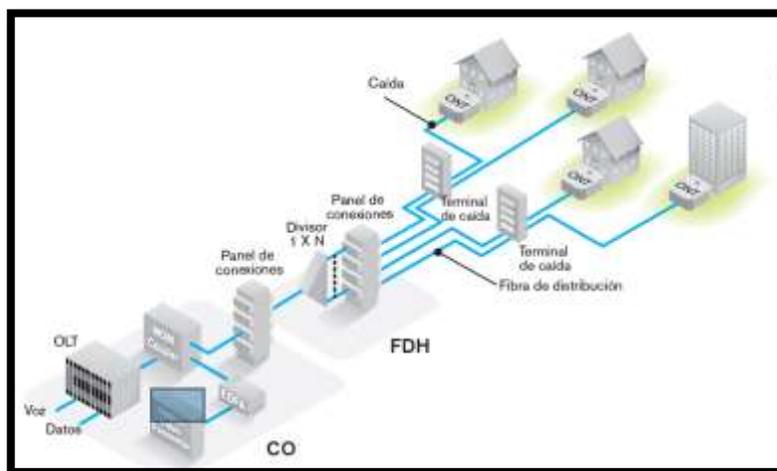


Figura 23. Componentes de una red PON

Fuente: (EXFO, 2012)

Por lo tanto, se puede decir que la red de distribución óptica pasiva ODN cuenta con tres dispositivos principales, una o varias OLT, una ONT por cada usuario suscriptor, los divisores ópticos de primer y segundo nivel. Sin embargo, la red de distribución también comprende componentes de instalación. (EXFO, 2012)

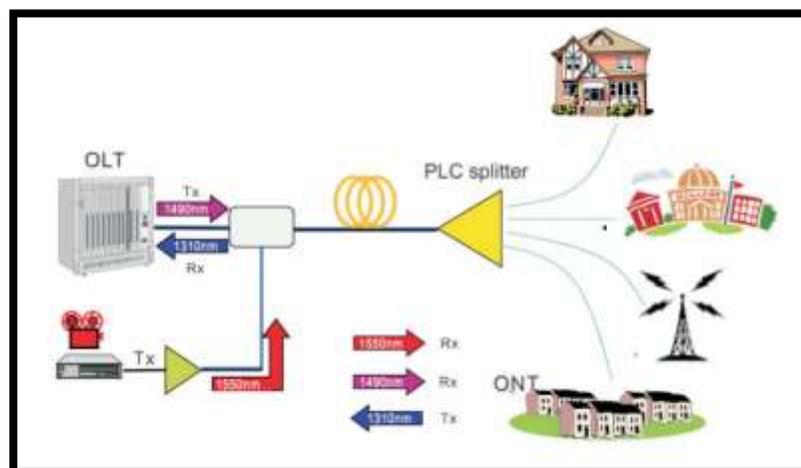


Figura 24. Estructura de fibra hasta la casa

Fuente: (Axess Network)

Según (Galeano Corchero, 2009) la OLT actúa como elemento cabecera de la red PON gestionando el tráfico de información y adquiriendo información de fuentes diferentes (voz, datos y video) para retransmitirla teniendo una infraestructura de red de fibra óptica hasta cada suscriptor.

- PSTN (Red de telefonía pública conmutada), brinda los servicios de voz a la OLT.
- Internet, brinda los servicios de datos o VoIP, mediante el encapsulamiento IP sobre ATM.
- Video o VoD (Video on Demand), brinda los servicios de video difusión. Conectada directamente a la OLT o mediante un Gateway ATM.

La OLT no trabaja de manera única, ésta se distribuye a través de tres partes o equipos distintos, trabajando en conjunto para gestionar los servicios.

- P-OLT, la OLT proveedora recoge las tramas de voz y datos, procesa las señales y las convierte en señales ópticas mediante el protocolo de multiplexación por división de tiempo (TDM).

- V-OLT, la OLT de video solamente envía tramas de video los cuales vienen de la red de video, transformando las tramas recibidas y redirigiéndolas a las ONT.
- M-OLT, OLT multiplexadora la cual se encarga de multiplexar las tramas provenientes de los equipos P-OLT y V-OLT y demultiplexar las tramas provenientes de las ONT.

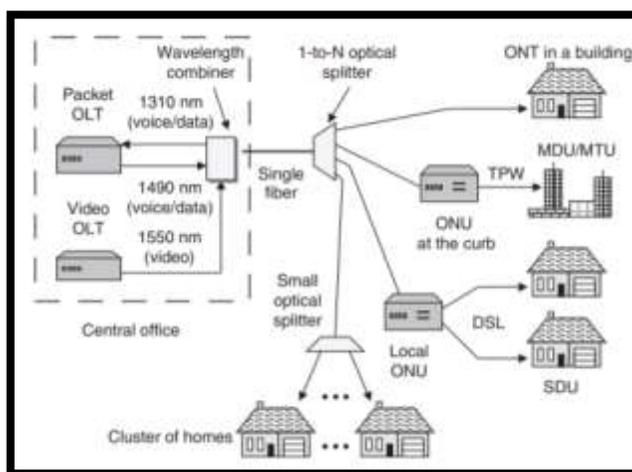


Figura 25. Funcionamiento de equipo OLT.

Fuente: (G.Kramer, 2006)

#### 2.2.10.1. Terminal de línea óptico

Es el equipo que gestiona la coordinación y el control del tráfico de red entre la OLT con la ONT, enviando permisos a ellos para transmitir durante un intervalo de tiempo específico. Los Time Slots están sincronizados para que las ráfagas de transmisión de diferentes usuarios no colisionen. Debido a que cada ONT se encuentra a diferentes distancias de la oficina central, la OLT utiliza un rango técnico para medir la distancia lógica entre los suscriptores y la OLT, permitiendo que cada ONT ajuste su sincronización de transmisión correctamente para evitar colisiones de tráfico. (G.Kramer, 2006)

#### 2.2.10.2. Unidad de red óptica

Es un elemento que permite filtrar la información dependiendo de los requisitos de comunicación por el usuario suscriptor que llega desde la OLT, además de enviar

información a la OLT. Normalmente la ONT soporta una combinación de servicios de telecomunicación.

Una ONT en conjunto con la OLT permite tener una asignación dinámica del ancho de banda y permite una entrega fluida del tráfico de datos que normalmente llega en ráfagas de los usuarios. (G.Kramer, 2006)

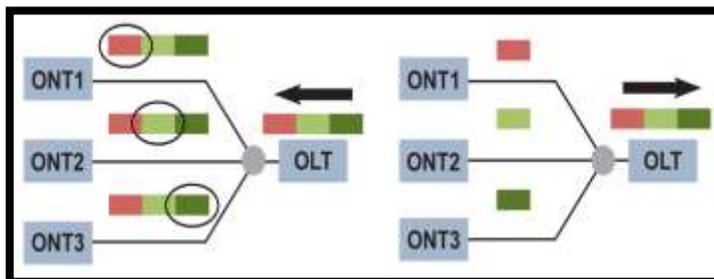


Figura 26. Flujo de tráfico de paquetes de datos en PON

Fuente: (FTTH Council Europe, 2016)

### 2.2.10.3. Divisor óptico

Son dispositivos que dividen bidireccionalmente la señal óptica. Utilizado en redes PON punto a multipunto (P2MP), el divisor tiene una entrada y múltiples puertos de salida. Los divisores son dispositivos totalmente pasivos porque no requieren una fuente de energía externa salvo el haz de luz incidente. Son de banda ancha y solo agregan pérdida, principalmente debido al hecho de que dividen la potencia de entrada de forma descendente.

Según Ivaniga & Ruzbarsky (2014), la atenuación depende de la relación del divisor. Se tiene que, para un divisor de segmento 1x2 su relación puede ser definida como:

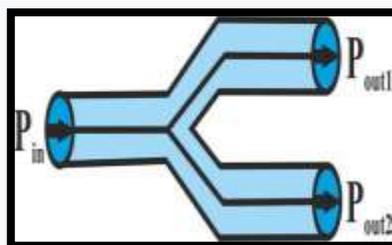


Figura 27. Atenuación en divisor óptico.

Fuente: <http://ciece.ubm.ro/vol/7-2014/106-7202.pdf>

$$A_s = A_{s1} = A_{s2} \dots = A_{sN}$$

$$A_{s1} = 10 \log\left(\frac{P_{in}}{P_{out1}}\right)$$

$$A_{s2} = 10 \log\left(\frac{P_{in}}{P_{out2}}\right)$$

En los divisores se puede determinar que la sumatoria de todas las potencias ópticas de cada salida es igual a potencia de entrada, entonces:

$$P_{in} = P_{out1} + P_{out2}$$

Para un segmento de relación 1xN se tiene que, para el caso de los divisores su fuente óptica esta activada en todas las salidas y son iguales por lo general se puede mencionar de la siguiente manera:

$$P_{out1} = P_{out2} = P_{out3} \dots = P_{outN}$$

Para un segmento Y con relación simple 1:2

$$P_{out1} = P_{out2} = \frac{P_{in}}{2}$$

Como resultado obtenemos que:

$$A_{D1} = A_{D2} = 10 \log\left(\frac{P_{in}}{0.5 * P_{in}}\right) = 10 \log(2) = 3.01 \text{ dB}$$

La atenuación en el divisor óptico de relación 1:4 es de igual manera

$$P_{out1} = P_{out2} = P_{out3} = P_{out4} = \frac{P_{in}}{4}$$

Reemplazando datos tendremos:

$$A_D = 10 \log\left(\frac{P_{in}}{0.25 * P_{in}}\right) = 10 \log(4) = 6.02 \text{ dB}$$

Para los divisores ópticos asimétricos su expresión matemática será:

$$\text{Ecuación 9: } A_D = 10 \log\left(\frac{P_{in}}{\frac{1}{N} * P_{in}}\right) = 10 \log(N) [\text{dB}]$$

Tabla 2. Características técnicas de atenuación en divisores ópticos PLC.

ESPECIFICACIONES	MODELO				
	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32
Banda óptica pasante	1260 a 1360nm e 1480 a 1580nm				
Perdida de inserción máxima sin tener en cuenta las pérdidas de los conectores	3,7dB	7,1dB	10,5dB	13,7dB	17,1dB
Uniformidad	0,5dB	0,6dB	1,0dB	1,3dB	1,5dB
Sensibilidad a la polarización máxima (PDL)	0,2dB	0,2dB	0,25dB	0,3dB	0,4dB
Directividad	> 55dB				
Pérdida de retorno	> 55dB				
Temperatura de operación					
Pérdida de retorno	> 55dB				

Fuente: Elaboración Propia

La red PON permite que múltiples usuarios compartan una fibra óptica individual, teniendo un ancho de banda compartido. En la dirección ascendente, las señales ópticas se combinan desde diversos ONTs en una fibra única.

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

Los divisores pueden diseñarse en función de la tecnología básica utilizada. Los tipos más comunes son la guía de onda planar (normalmente para elevadas relaciones de división) y la fibra de acondicionador bicónico fundido (FBT) (normalmente para bajos recuentos).

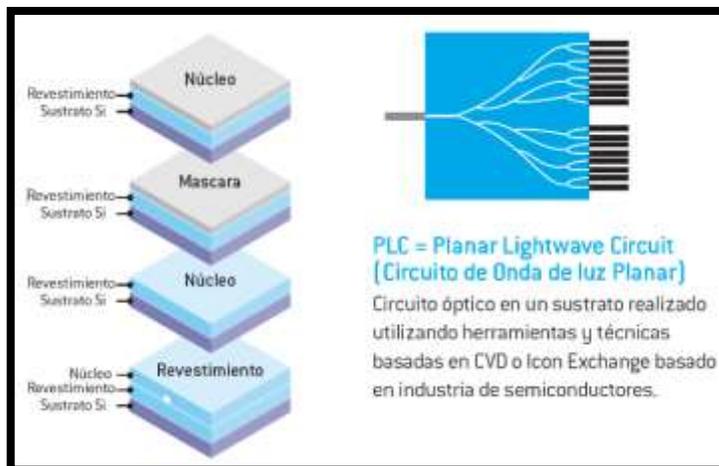


Figura 28. Divisor óptico de onda planar (PLC)

Fuente: (EXFO, 2012)

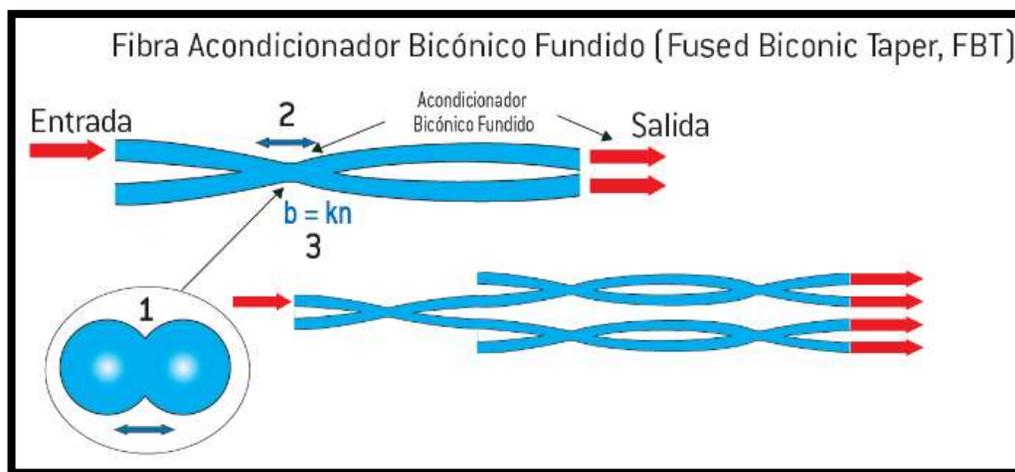


Figura 29. Divisor por Acondicionado Biconico Fundido (FBT)

Fuente: (EXFO, 2012)

#### 2.2.10.4. Conectores

Según (EXFO, 2012) existen tres categorías diferentes de conectores:

- Simplex – conector con una fibra terminada.
- Dúplex – conector con dos fibras terminadas.
- Multifibra – conector con más de dos fibras (hasta 72).

Los conectores simplex son actualmente los más populares para implantaciones FTTH. En la figura 26 se muestra los tipos más comunes de conectores.



Figura 30. Tipos de conectores comúnmente utilizados.

Fuente: (Commoscope, 2018)

### 2.2.11. Estándar GPON (Gigait passive optic network)

GPON es un estándar dentro de las redes PON (EPON, BPON y X-GPON). Resulta una de las tecnologías más rápidas de transmisión de datos a alta velocidad, permitiendo ofrecer servicios de voz, datos y video por un mismo canal óptico, cubriendo las necesidades de conexión a la comunidad local.

Internacionalmente GPON se encuentra estandarizada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones. Esta propone las recomendaciones que se deben tener en cuenta para la fabricación de dispositivos, componentes, interfaz de control y gestión de la red óptica basada en el estándar GPON.

Tabla 3. Parámetros para certificar una red FTTH GPON (ITU-T G.984.x).

<b>ITU-G.984 (ITU-T,2011)</b>	Características generales
<b>ITU-G.984.2 (ITU-T,2012)</b>	Medios físicos dependientes
<b>ITU-G.984.3 (ITU-T,2014)</b>	Convergencia de transmisión
<b>ITU-G.984.4 (ITU-T,2011)</b>	Gestión ONT, especificación de la interfaz de control
<b>ITU-G.984.5 (ITU-T,2014)</b>	Mejoramiento de banda
<b>ITU-G.984.6 (ITU-T,2012)</b>	Mayor alcance

Fuente: (UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, 2003)

La norma ITU-T G.984.x (x = 1, 2, 3, 4, 5, 6) es una recomendación que ayuda a tomar bases en el diseño y certificación de topologías GPON. En la tabla 3 se detalla los parámetros más importantes para certificar una red FTTH GPON. (Edison Quisnancela, 2016)

GPON está diseñada para soportar velocidades de transmisión superior o iguales a 1,2 Gbit/s, en el caso de FTTH es posible la combinación de 7 anchos de banda de transmisión:

- 155 Mbit/s sentido ascendente, 1,2 Gbit/s sentido descendente.
- 622 Mbit/s sentido ascendente, 1,2 Gbit/s sentido descendente.
- 1,2 Gbit/s sentido ascendente, 1,2 Gbit/s sentido descendente.
- 155 Mbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente.
- 622 Mbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente.
- 1,2 Gbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente.
- 2,4 Gbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente.

El estándar GPON ITU-T G.984.x recomienda que el principal elemento en el diseño de una red FTTH es el cálculo teórico del presupuesto de pérdidas ópticas. La ecuación 9 indica los elementos que se deben considerar en el cálculo de la atenuación óptica en todo el trayecto de la ODN. (Corning Optical Communications, 2015)

$$\text{Ecuación 10: } A = (a_1 + a_2 + \dots + a_n) + (b * c) + (d * e) + (f * g)$$

Dónde:

[A]: Atenuación total teórica [dB]

[a]: Atenuación del divisor óptico [dB]

[b]: Atenuación de la fibra óptica [dB/Km]

[c]: Distancia del enlace [Km]

[d]: Atenuación del punto de empalme [dB]

[e]: Cantidad total de puntos de empalme en el enlace [unidad]

[f]: Atenuación de los conectores [dB]

[g]: Cantidad total conectores en el enlace [unidad]

Margen de seguridad óptico recomendado para la certificación de una red GPON tiene que ser +3dBm.

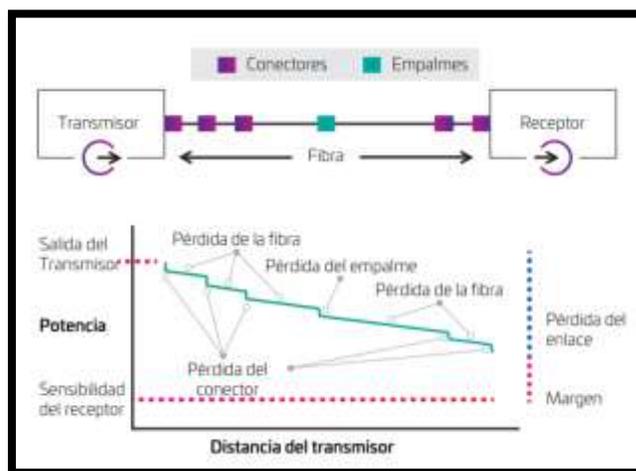


Figura 31. Cálculo de presupuesto de atenuación.

Fuente: (Commoscope, 2018)

#### 2.2.11.1. Flujo de tráfico

La multiplexación por división de tiempo (TDM), en redes PON permite que el tráfico de bajada de la OLT sea distribuido hacia las ONTs mediante un divisor óptico pasivo por broadcasting.

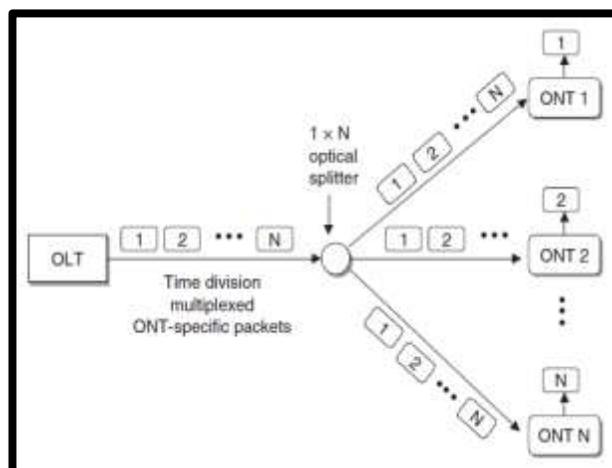


Figura 32. Funcionamiento del proceso de multiplexación por división de tiempo.

Fuente: (G. Kramer, 2006).

La información enviada es encriptada, así cada ONT puede acceder solamente a su propia información, en la figura 26 se muestra como el ancho de banda de una sola longitud de onda es compartida en tiempo, entre diferentes usuarios usando varios protocolos TDM. (Khan, 2016)

Enviar tráfico en dirección ascendente es más complicado, ya que todos los usuarios tienen que compartir la misma longitud de onda. Para evitar colisiones entre las transmisiones de diferentes usuarios, el sistema utiliza un protocolo TDMA.

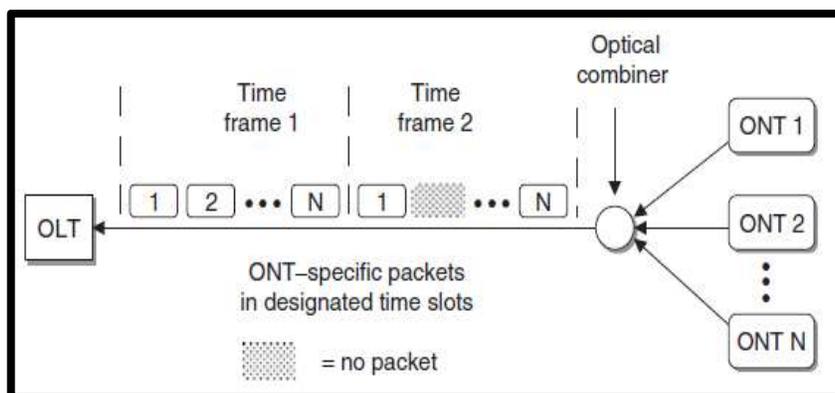


Figura 33. Funcionamiento del protocolo de acceso múltiple por división de tiempo.

Fuente: (G. Kramer, 2006).

La OLT envía punteros que indican el momento en que cada ONT puede iniciar y terminar sus transmisiones en sentido ascendente. De esta forma, en un momento dado, sólo una ONT accede al medio, no produciéndose una colisión en un funcionamiento normal. Las unidades de los punteros son bytes, lo cual permite que la OLT controle el medio con una granularidad de anchura de banda estática de 64 kbit/s.

#### 2.2.11.2. Estructura de trama descendente

La trama es de 125  $\mu$ s. La gama de valores de longitud de la PCBd es la misma para ambas velocidades 1,2 Gbps y 2,4 Gbps, y es función del número de estructuras de atribución por cada trama.

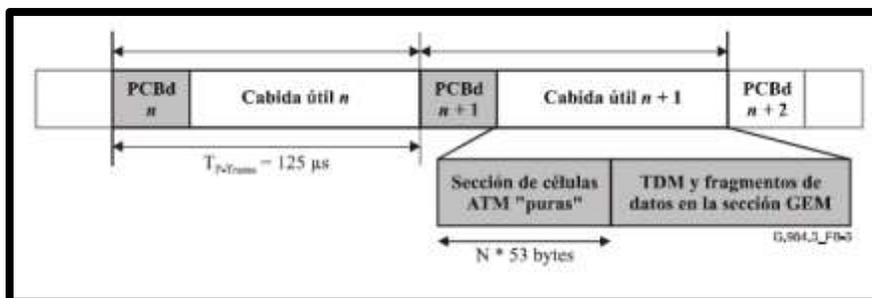


Figura 34. Trama descendente de TC y GTC.

Fuente: Unión internacional de telecomunicaciones 2004.

### 2.2.11.3. Estructura de trama ascendente

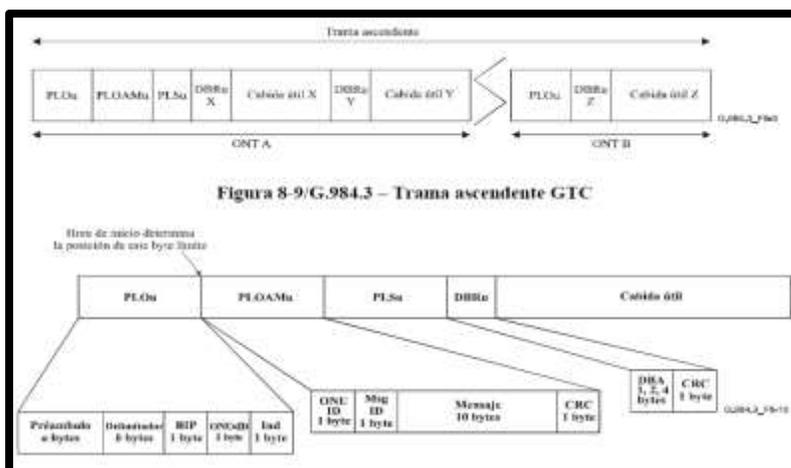


Figura 35. Descripción detallada de tramas ascendentes GTC.

Fuente: Unión internacional de telecomunicaciones 2004.

La longitud de la trama es la misma que en sentido descendente para todas las velocidades binarias. Cada trama contiene un conjunto de transmisiones procedentes de una o varias ONT. El ancho de banda determina la configuración adoptada para dichas transmisiones. De acuerdo con el control ejercido por la OLT, durante cada periodo de atribución, la ONT puede transmitir uno de los cuatro tipos de tramas de PON y datos de usuario. Los cuatro tipos de tramas son los siguientes:

- Trama de capa física ascendente (PLOu, physical layer overhead).

- Operaciones de gestión y administración de capa física ascendente (PLOAMu, physical layer operations, administration and management upstream).
- Secuencia de nivelación de potencia ascendente (PLSu, power levelling sequence upstream).
- Informe de anchura de banda dinámica ascendente (DBRu, Dynamic bandwidth report upstream).

### **2.2.12. Servicios de banda ancha**

Hace tan solo unos años, la transferencia de información en banda ancha solo se limitaba a una velocidad cerca de 256kbps para acceder a internet. En la actualidad la banda ancha es un pilar de una gran gama de actividades, que van desde servicios telecomunicaciones (telefonía, televisión, radio, etc.) hasta servicios sociales suministrados por medios electrónicos (salud, educación, gobierno, etc.). En esta nueva era de las telecomunicaciones los servicios de multimedia requieren de grandes flujos de datos para así cubrir las necesidades del usuario.

Un indicador de desarrollo en la actualidad ya no viene dado por el porcentaje de usuarios conectados a la red, sino el ancho de banda que se les puede proporcionar para acceder a diversos servicios que involucren la transferencia masiva datos con una alta eficiencia en seguridad, calidad de servicio y precio razonable.

Las tecnologías de la información y de las telecomunicaciones, siendo el soporte de un gran rango de actividades que se encuentran entre el ámbito del entretenimiento hasta el sector laboral, tienen múltiples efectos positivos tanto en el crecimiento económico como en la inclusión social.

Para lograr estas metas se requiere de cierta tecnología, la cual permite que los dispositivos y redes de acceso soporten los volúmenes de información requeridos.

El servicio de banda ancha no se limita a ser un servicio más de telecomunicaciones o un acceso más rápido a internet. Es el punto de partida para el crecimiento progresivo social y económico, el cual se enfoca en brindar eficiencia, innovación, colaboración en inclusión, propios de las redes. (Peres, Galperin, & Jordán, 2010)

La forma de brindar los servicios que ofrece la red de banda ancha a los usuarios de la forma eficaz con respecto al costo dependerá, no solamente de condiciones de tipo

jurídico, sino también de factores que incluyen la infraestructura existente de telecomunicaciones, la distribución de las viviendas y la proporción en que estén presentes los usuarios finales. (UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, 2003)

Debido a la gran gama de diversidad en la estructuración de los mercados y la llegada de HDTV 3D, 4K e incluso 8K, video de realidad virtual (VR), sin mencionar las innovaciones que requieren gran cantidad de ancho de banda, como Internet de las cosas, servicios y aplicaciones en la nube, edificios inteligentes, realidad virtual y aumentada, tráfico autónomo y tecnología blockchain, se ha planteado un cuadro comparativo con las características que han sido percibidas como comunes por todas las partes y que pueden resumirse como sigue:

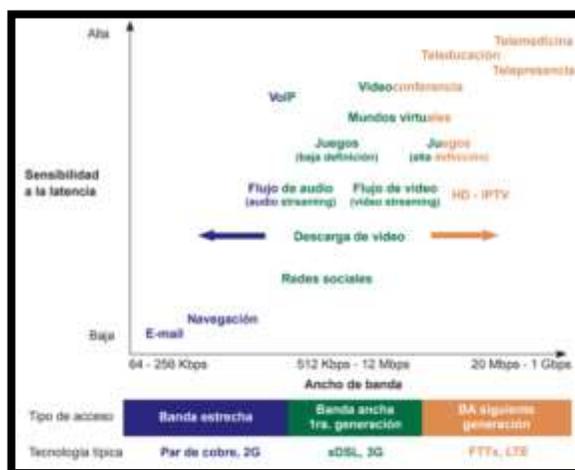


Figura 36. Requerimientos de ancho de banda según tipo de aplicación.

Fuente: (Peres, Galperin, & Jordán, 2010).

Con el auge de las aplicaciones en la nube, el Internet de las cosas y las ciudades inteligentes, así como la llegada de 5G, la necesidad de redes de gran ancho de banda, de baja latencia y a prueba de futuro está aumentando aún más. Además, la demanda por ancho de banda simétrico, ha crecido significativamente, ofreciendo un rendimiento comparable tanto para la descarga como para la carga. Los usuarios esperan una conectividad ubicua, lo que significa que siempre funcione. (Commoscope, 2018)



Figura 37. Crecimiento de las redes FTTH.

Fuente: Broadband Outlook Report 2016.

La fibra es esencial para la economía de innovación de hoy. Un estudio del Analysis Group de 2014, encontró un mayor PIB per cápita (1.1 por ciento) en las comunidades que ofrecen internet gigabit. El PIB en estas comunidades era aproximadamente \$1.4 billones más alto con respecto a comunidades situadas en forma similar.

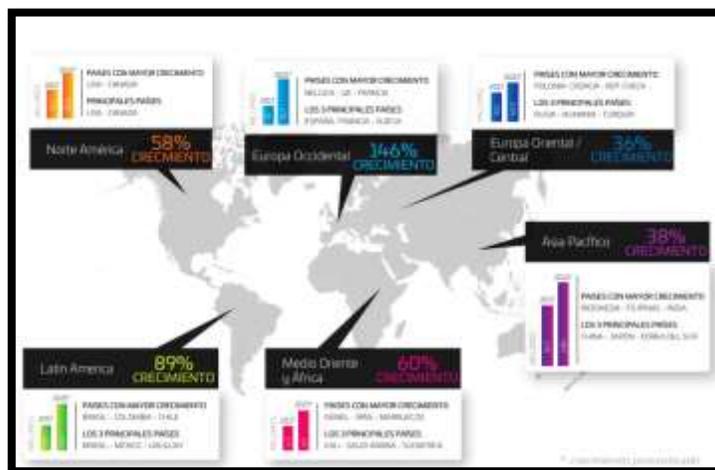


Figura 38. Crecimiento pronosticado de FTTH para mejora del ancho de banda.

Fuente: IDATE DigiWorld.

En la misma línea, otro estudio realizado en 2017 por RVA LLC para la Fiber Broadband Association, USA vinculó redes de fibra altamente disponibles a la formación de nuevos negocios, una mejor economía y más empleos. La investigación en otras

regiones muestra resultados similares: en Francia, por ejemplo, se crearon 4.8% más empresas nuevas en municipios equipados con banda ancha ultrarrápida que en municipios con un acceso más lento. (Commoscope, 2018)

### 2.2.13. Coexistencia de tecnologías xPON

Dos importantes grupos de estándares a nivel mundial como lo son el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) y el Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T), han estado a la vanguardia del desarrollo de estándares, como lo es GPON, XGS-PON y NG-PON2.

Tabla 4. Coexistencia de tecnologías xPON

GPON	XGS-PON	NG-PON
Protocolo basado en IP, utilizado en la mayoría de las implementaciones y que se adapta a las aplicaciones exigentes actuales y futuras a nivel mundial.	10 Gbps simétrico: una mejora de las generaciones anteriores de XG-PON las cuales ofrecían solo 10 Gbps en sentido descendente.	40 Gbps simétrico, posiblemente 80 Gbps en el futuro.
2.488 Gbps en sentido descendente y 1.244 Gbps en sentido ascendente.	El ancho de banda simétrico es ideal para los servicios empresariales actuales y de backhaul móvil	Un ancho de banda extremadamente alto, múltiples longitudes de onda y redes definidas por software permiten a NG-PON2 usar una sola fibra para diferentes propósitos.
Mayormente con una sola fibra, aunque el estándar especifica ambos sistemas de una sola fibra y mutifibra.	Ofrece cuatro veces la velocidad de subida de la tecnología actual XG-PON1.	Híbrido con enfoque de multiplexación por división de tiempo y longitud de onda.
	Servicio simétrico menos costoso en comparación con otras rutas de actualización PON.	
10G PON, también llamado XGPON, y basado en el estándar ITU-T G.987, está diseñado para coexistir con dispositivos GPON en la misma red.		NG-PON2 y GPON pueden compartir la red de distribución óptica (ODN), lo que beneficia a los operadores que combinan servicios empresariales y residenciales.

Servicio simétrico menos costoso en comparación con otras rutas de actualización PON.

---

Relativamente fácil de escalar las redes de fibra existentes en respuesta a la demanda.

---

Puede coexistir con la tecnología GPON de generación actual.

---

Fuente: (Commoscope, 2018)

#### **2.2.14. Ventajas y deficiencias de las redes PON**

A continuación, se especificarán las principales ventajas que nos brindan las redes PON:

- Permite realizar enlaces de comunicación por medio de la fibra óptica hasta 20Km en comparación con la red xDSL que son hasta 5.5Km aproximadamente.
- Mejor calidad de servicio con GPON ofrece y garantiza un ancho de banda para diversos servicios al usuario usando sus tecnologías de transmisión.
- Reduce costos de operación y mantenimiento en planta externa al utilizar equipos pasivos y en la oficina central reduce el equipamiento de cabecera.
- Lo más importante la escalabilidad y la interoperabilidad con tecnologías como las XG-PON y continuar usando la misma infraestructura de planta externa.
- Seguridad en las redes de fibra óptica estas cuentan con información cifrada.
- Alta inmunidad a ruidos o interferencias electromagnéticas.
- Las redes PON ahorran costos y simplifican la gestión de los elementos que forman la red.

La principal desventaja que se pudiera presentar es la caída de red la principal, la cual afectaría a una gran cantidad de usuarios, sin embargo, estas redes permiten desarrollarse en topologías redundantes para mitigar dicho efecto.

### 2.2.15. Diseño de una red de acceso GPON FTTH

El diseño de una red de acceso FTTH compromete diferentes factores incluyendo tamaño, costo y escalabilidad. No existe un modelo de una red de acceso FTTH estandarizado ya que la viabilidad del proyecto depende fuertemente de la densidad de suscriptores (suscriptores/Km<sup>2</sup>) y la estructura (Calles, avenidas, edificios, casas, ETC).

Para el diseño de la planta externa, no es posible planearlo desde un escritorio de trabajo, cada sector debe ser revisado físicamente y luego planeado de acuerdo a los conocimientos y experiencias pasadas. Los estándares internacionales no pueden ser aplicados de la misma manera en todo el lugar ya que cada sector cuenta con sus propios factores estructurales.

La red considerada en este proyecto requiere proveer los servicios de internet, IPTV y Telefonía IP, por lo que la gestión del ancho de banda viene a ser un factor importante, ya que este aspecto garantiza la calidad y la satisfacción de los usuarios con respecto a los servicios propuestos.

Es de vital importancia conocer el total de ancho de banda cada uno de los servicios ofrecidos y la relación con los divisores ópticos de primer y segundo nivel, para lo cual se plantea la siguiente fórmula que resultará además en la siguiente tabla 5.

$$\text{Ecuación 11 } Total \text{ Ancho de banda [Mbps]} = \text{Acceso a internet} + \text{IPTV} + \text{VoIP}$$

Tabla 5: Ejemplo del cálculo de ancho de banda

Servicio	Ancho de banda (Subida)	Ancho de Banda (Bajada)
Acceso a internet	1Mbps	20Mbps
IPTV	100Kbps	8Mbps
Servicio telefonía IP	200Kbs	200kbps
Total	1.3Mbps	28.2Mbps

Fuente: (Commoscope, 2018)

Para garantizar que el total de ancho de banda va a llegar a los usuarios de manera eficiente y continua, es necesario establecer la relación entre los divisores ópticos, teniendo en cuenta el número de canales de comunicación por puerto en cada uno de los divisores ópticos. Para obtener la velocidad se puede usar la siguiente técnica:

$$\text{Ecuación 12: } \textit{Ancho de banda a entregar} = \frac{\textit{Ancho de banda en el puerto PON}}{\textit{Relacion de division óptica}}$$

Continuando con el desarrollo del plan de investigación, uno de los objetivos principales es maximizar su rentabilidad. Por consiguiente, se han de conocer y analizar las diferentes inversiones en las que se incurre a lo largo del ciclo: inversiones en adquisición o mejora de los bienes de capital (CAPEX) e inversiones asociadas al mantenimiento y otros gastos operativos (OPEX). Un proyecto debe de tener planificadas dichas inversiones para elaborar correctamente su presupuesto, por lo tanto, es necesario tener en cuenta tanto la evolución de estas inversiones. Como consecuencia, en ciertas ocasiones con la necesidad de sustituir CAPEX por OPEX y viceversa. Una vía de reducir dichos costos de capital por contrapartida de OPEX es el uso de la subcontratación o el alquiler de equipos e instalaciones. Las ventajas más evidentes de este cambio es el aumento de la flexibilidad de los costos y la reducción de las necesidades de financiación.

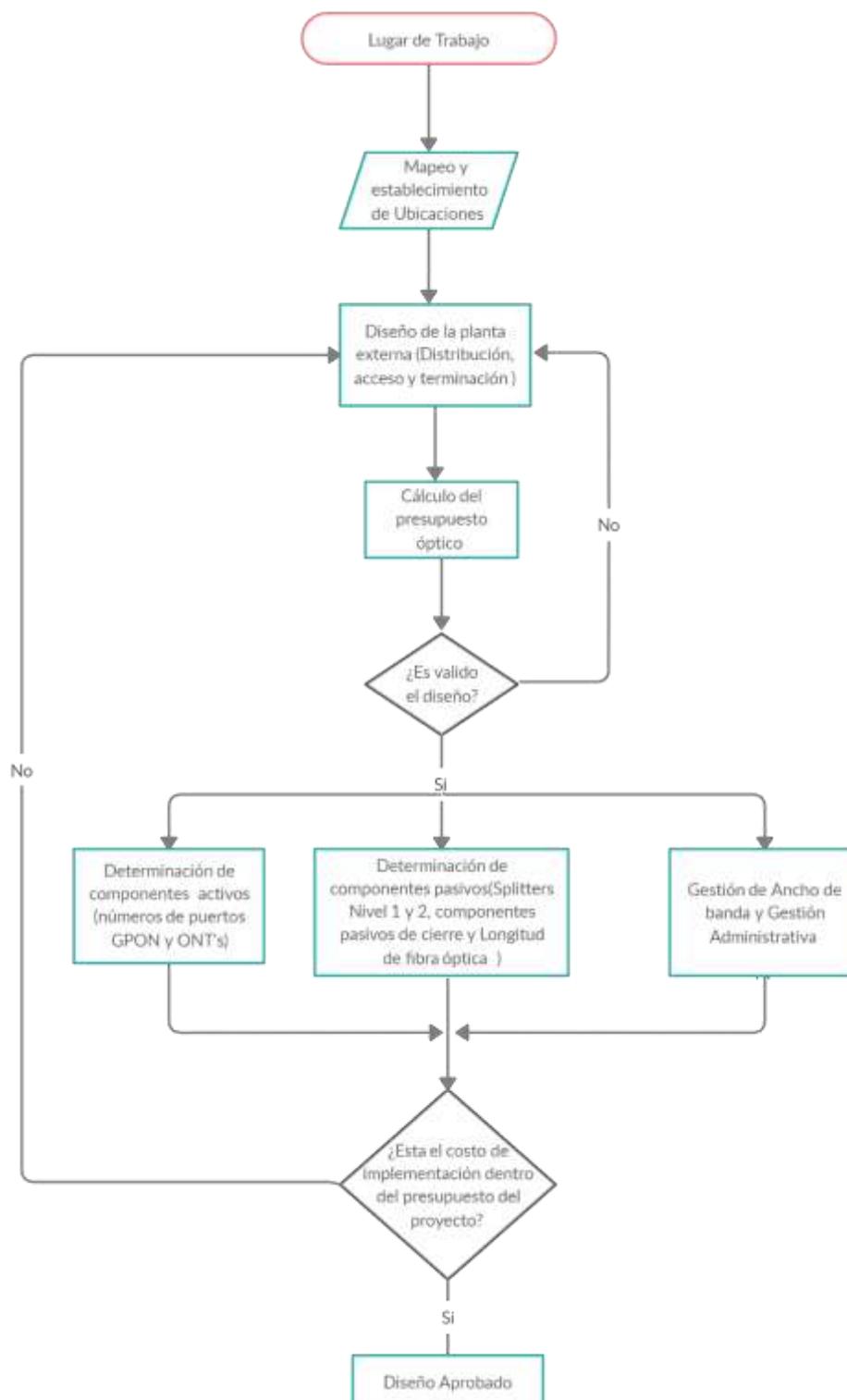


Figura 39. Diagrama de flujo del diseño de una red de acceso FTTH.

Fuente: Modificado de (Al-Quzwini, 2014).

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- a) Banda ancha: Es todo tipo de red con una elevada capacidad para transportar información por medios modernos (Fibra óptica) entre uno o varios puntos a la vez.
- b) Ancho de banda: Está definida como la capacidad de comunicación o velocidad de transmisión de datos de un circuito o canal, como la cantidad de información que se puede enviar a través de una conexión de red en un periodo dado, medida en Hertz [Hz], también es definida como la cantidad de bits que pueden viajar por el medio físico (Ejemplo: Fibra óptica 2.5Gbps, 10Gbps, ETC)
- c) Overbooking: Es una relación de ancho de banda fijo, el cual está disponible las 24 horas del día.
- d) Ventana: Es un área en la región del espectro electromagnético infrarrojo, donde la luz viaja a su máxima potencia dentro una fibra óptica.
- e) Convergencia: Es la integración de múltiples servicios de red como: voz, datos y video. Usando como medio de transporte principal la fibra óptica.

## CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación es de tipo no experimental y su diseño es cualitativo. Se describen las características técnicas y bondades de la tecnología FTTH con el estándar GPON. Con el presente trabajo de investigación se pretende plantear una solución al problema de acceso de última milla a los servicios de telecomunicaciones del distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia de Tacna.

### 3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.2.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- **Red de acceso con tecnología FTTH:** Es la topología física y lógica que contiene los elementos pasivos, la cual es portadora de la información que va desde la oficina central hasta cada abonado.

#### 3.2.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- **Servicios de banda ancha:** Son los servicios que son transportados en la red de acceso con tecnología FTTH (Voz, datos, video) manteniendo la confidencialidad, disponibilidad y integridad.

### 3.3. DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE INVESTIGACIÓN

El diseño de una red de acceso con tecnología FTTH para la distribución de servicios de banda ancha en la primera etapa de la zona 10 del distrito Gregorio Albarracín Lanchipa de la provincia de Tacna, se realizó en su primera etapa para 3034 usuarios o suscriptores ubicados en las asociaciones de vivienda de las pampas de Viñani. Este diseño obedece la implementación de una red de planta externa conjuntamente con su cabecera de distribución, servicios por medio de fibra óptica utilizando una red pasiva óptica con la tecnología que FTTH ofrece, en la cual se basó en el estándar de transmisión GPON. Esta red de planta externa consta de la arquitectura de red de distribución, red de acceso y red de terminación además cuenta con la red de troncal desde el proveedor de internet. El diseño permite realizar los patrones de cálculo para la ampliación de la red de planta externa instalada sobre la infraestructura de red de distribución de energía eléctrica de baja tensión nivel 380/220 VAC.

## CAPÍTULO IV. DISEÑO

### 4.1. DISEÑO E INGENIERÍA DE LA RED DE ACCESO

Para la realización del presente trabajo de investigación se elaboró un módulo de pruebas de atenuación utilizando un equipo OLT como elemento cabecera, dos ONT's para los usuarios suscriptores, divisores ópticos de primer y segundo nivel, fibra óptica, acopladores, conectores, un ordenador de fibra óptica y un gabinete. El módulo permite la medición de la atenuación en una red de planta externa.

En la figura 40 podemos apreciar el nivel de sostenibilidad de la tecnología PON en el transcurso de los años. La tecnología PON es una de las tecnologías en fibra óptica de banda base dominante a nivel mundial, la cual en la actualidad representa un promedio del 93% de la totalidad de las redes de telecomunicaciones con prestaciones y soporte técnico.

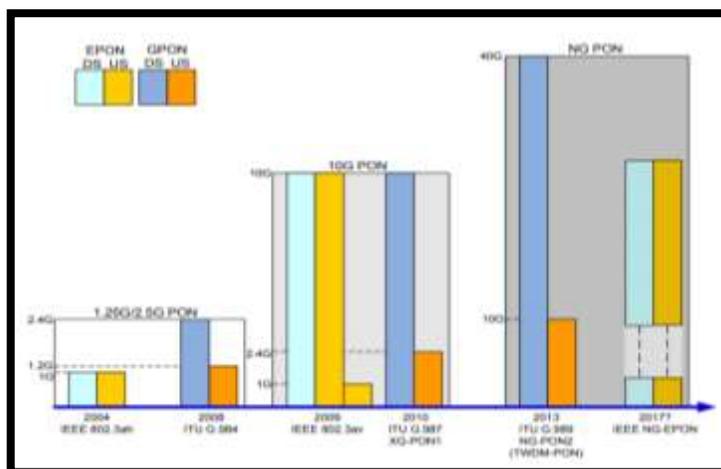


Figura 40. Evolucion de tecnologias Gpon y Epon.

Fuente: Fabricante de equipos en telecomunicaciones HUAWEI technologies.

### 4.2. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA

La ubicación de la población para el presente trabajo está ubicada dentro de los límites del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, el cual está zonificado y designado como sector 10. Con una superficie total de 2,137m x 530m siendo un área de 1,132.61km<sup>2</sup> de la extensión distrital, ubicada a 800 m.s.n.m.

La recopilación de información referente a la ubicación de la red de postes de distribución eléctrica nos permite conocer cuál será la ubicación del recorrido cable de fibra óptica ADSS en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa. El procesamiento de la información se realizó con planos en AutoCAD y planos de Google Earth.



Figura 41. Plano catastral de ubicación de MDGAL.

Fuente: Plano catastral MDGAL.

El sector 10 forma parte de la jurisdicción del distrito Cnel. Gregorio Albarracín Lanchipa denominado Viñani. El sector presenta ocupación residencial de baja densidad y constante crecimiento la cual requiere de dotación de una red de acceso, por lo cual nos centraremos en esta población económicamente creciente y en constante desarrollo socio económico. El distrito Cnel. Gregorio Albarracín Lanchipa cuenta con un área de

842.26 hectáreas, su uso predominante es de residencial e industria liviana según equipo técnico PAT-PDU 2014-2023 MPTACNA.

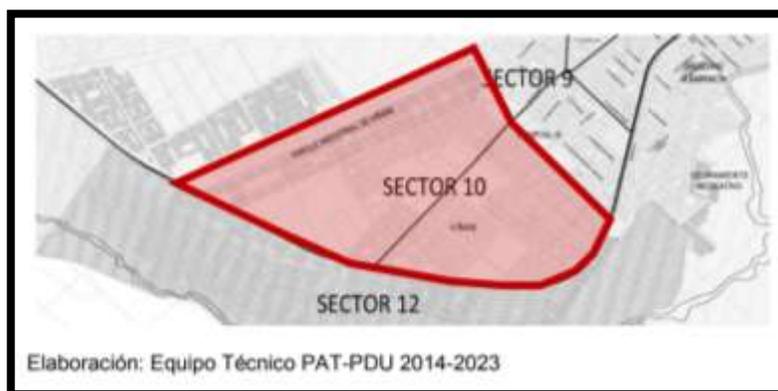


Figura 42. Delimitación del sector 10 MDGAL.

Fuente: Catastro MDGAL.



Figura 43. Identificación en Google Map del sector 10.

Fuente: Elaboración propia, Mapa Google Earth.



### 4.3. POBLACIÓN SELECCIONADA PARA EL DISEÑO UNA RED DE ACCESO

#### 4.3.1. Ciudad de Paz

La asociación de vivienda Ciudad de Paz está distribuida en 24 manzanas numeradas desde la Manzana N° 500 hasta la manzana N° 523, cuenta con 666 lotes de vivienda. Representa 21.95% del total de suscriptores, sin considerar que en algunas viviendas puedan vivir hasta 2 familias.

Tabla 6. Total de viviendas por manzana en Asoc. Ciudad de Paz.

Habilitación Urbana Sector de Viñani Distrito GREGORIO Albarracín Lanchipa			
1 Promuvi Viñani Ampliación I etapa			
Nº Orden	ASOC. De Vivienda	Nº. de Mz.	Cantidad de Viviendas x Mz.
1	Ciudad de paz	500	25.00
2	Ciudad de paz	501	35.00
3	Ciudad de paz	502	25.00
4	Ciudad de paz	503	25.00
5	Ciudad de paz	504	35.00
6	Ciudad de paz	505	25.00
7	Ciudad de paz	506	25.00
8	Ciudad de paz	507	35.00
9	Ciudad de paz	508	25.00
10	Ciudad de paz	509	25.00
11	Ciudad de paz	510	35.00
12	Ciudad de paz	511	25.00
13	Ciudad de paz	512	25.00
14	Ciudad de paz	513	25.00
15	Ciudad de paz	514	21.00
16	Ciudad de paz	515	25.00
17	Ciudad de paz	516	35.00
18	Ciudad de paz	517	25.00
19	Ciudad de paz	518	25.00
20	Ciudad de paz	519	35.00
21	Ciudad de paz	520	25.00
22	Ciudad de paz	521	25.00
23	Ciudad de paz	522	35.00
24	Ciudad de paz	523	25.00
Total, de viviendas			666.00

Fuente: Elaboración propia.



Figura 46. Distribución de la asociacion de vivienda Ciudad de Paz.

Fuente: Elaboracion Propia.

#### 4.3.2. Paseo de los Héroes y Virgen de la Candelaria

La asociación de vivienda Paseo de los Héroes: está distribuida en 32 manzanas numeradas desde la manzana N° 524 hasta la manzana N° 555, cuenta con 755 lotes de vivienda. Representa 24.88% suscriptores sin considerar que en algunas viviendas puedan vivir hasta 2 familias. Además, cuenta con infraestructura para hospedajes. La asociacion de vivienda Virgen de la Candelaria cuenta con 2 manzanas numeradas con los N° 556 y 557 con una cantidad de 52 lotes de vivienda. Representa 1.71% suscriptores, sin considerar que en algunas viviendas puedan vivir hasta 2 familias.

Tabla 7. Total de viviendas por manzana en Asoc. Virgen de la Candelaria.

Habilitación Urbana Sector de Viñani Distrito GREGORIO Albarracín Lanchipa			
2 Promuvi Viñani Ampliación I etapa			
Nº Orden	ASOC. De Vivienda	Nº. de Mz.	Cantidad de Viviendas x Mz.
1	Virgen de la Candelaria	556	26.00
2	Virgen de la Candelaria	557	26.00
Total, de viviendas			52.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8. Total de viviendas por manzana de Asoc. Paseo de Los Heroes.

Habilitación Urbana Sector de Viñani Distrito GREGORIO Albarracín Lanchipa			
3 Promuvi Viñani Ampliación I etapa			
Nº Orden	ASOC. De Vivienda	Nº. de Mz.	Cantidad de Viviendas x Mz.
1	Paseo de los Héroes	524	22.00
2	Paseo de los Héroes	525	18.00
3	Paseo de los Héroes	526	26.00
4	Paseo de los Héroes	527	28.00
5	Paseo de los Héroes	528	28.00
6	Paseo de los Héroes	529	26.00
7	Paseo de los Héroes	530	18.00
8	Paseo de los Héroes	531	16.00
9	Paseo de los Héroes	532	16.00
10	Paseo de los Héroes	533	18.00
11	Paseo de los Héroes	534	26.00
12	Paseo de los Héroes	535	28.00
13	Paseo de los Héroes	536	28.00
14	Paseo de los Héroes	537	18.00
15	Paseo de los Héroes	538	14.00
16	Paseo de los Héroes	539	16.00
17	Paseo de los Héroes	540	18.00
18	Paseo de los Héroes	541	28.00
19	Paseo de los Héroes	542	28.00
20	Paseo de los Héroes	543	26.00
21	Paseo de los Héroes	544	20.00
22	Paseo de los Héroes	545	18.00
23	Paseo de los Héroes	546	33.00
24	Paseo de los Héroes	547	20.00
25	Paseo de los Héroes	548	26.00
26	Paseo de los Héroes	549	28.00
27	Paseo de los Héroes	550	28.00
28	Paseo de los Héroes	551	26.00
29	Paseo de los Héroes	552	20.00
30	Paseo de los Héroes	553	34.00
31	Paseo de los Héroes	554	36.00
32	Paseo de los Héroes	555	20.00
Total, de viviendas			755.00

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 47. Distribución en las asociaciones de vivienda Virgen de la Candelaria y Paseo de los Héroes.

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.3.3. Villa Colonial

La asociación de vivienda Villa Colonial está distribuida en 22 manzanas numeradas desde la manzana N° 558 hasta la manzana N° 579, cuenta con 536 lotes de vivienda. Representa 17.67% suscriptores, sin considerar que en algunas viviendas puedan vivir hasta 2 familias.



Figura 48. Distribución en la asociación de Vivienda Villa Colonial.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 9. Total de viviendas por manzana en Asoc. Villa Colonial.

Habilitación Urbana Sector de Viñani Distrito GREGORIO Albarracín Lanchipa			
4 Promuvi Viñani Ampliación I etapa			
Nº Orden	ASOC. De Vivienda	Nº. de Mz.	Cantidad de Viviendas x Mz.
1	Villa Colonial	558	19.00
2	Villa Colonial	559	22.00
3	Villa Colonial	560	20.00
4	Villa Colonial	561	20.00
5	Villa Colonial	562	24.00
6	Villa Colonial	563	19.00
7	Villa Colonial	564	32.00
8	Villa Colonial	565	32.00
9	Villa Colonial	566	26.00
10	Villa Colonial	567	28.00
11	Villa Colonial	568	26.00
12	Villa Colonial	569	22.00
13	Villa Colonial	570	22.00
14	Villa Colonial	571	32.00
15	Villa Colonial	572	20.00
16	Villa Colonial	573	20.00
17	Villa Colonial	574	21.00
18	Villa Colonial	575	29.00
19	Villa Colonial	576	21.00
20	Villa Colonial	577	28.00
21	Villa Colonial	578	27.00
22	Villa Colonial	579	26.00
Total, de viviendas			536.00

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.3.4. Ciudad Futura

La asociación de vivienda Ciudad futura está distribuida en 05 manzanas numeradas desde la Manzana Nº 100 hasta la manzana Nº 104, cuenta con 140 lotes de vivienda. Representa 4.61% suscriptores, sin considerar que en algunas viviendas puedan vivir hasta 2 familias

#### 4.3.5.El Comerciante

La asociación de vivienda el comerciante está distribuida en 05 manzanas numeradas desde la Manzana N° 105 hasta la manzana N° 109, cuenta con 140 lotes de vivienda. Representa 4.61% suscriptores, sin considerar que en algunas viviendas puedan vivir hasta 2 familias.

#### 4.3.6.La Joya

La asociación de vivienda la Joya está distribuida en 05 manzanas numeradas desde la Manzana N° 110 hasta la manzana N° 114, cuenta con 129 lotes de vivienda. Representa 4.25% suscriptores, sin considerar que en algunas viviendas puedan vivir hasta 2 familias.

#### 4.3.7.El Nazareno

La asociación de vivienda el Nazareno está distribuida en 05 manzanas numeradas desde la Manzana N° 115 hasta la manzana N° 119, cuenta con 137 lotes de vivienda. Representa 4.52% suscriptores, sin considerar que en algunas viviendas puedan vivir hasta 2 familias.



Figura 49. Distribución de asociación de Vivienda Ciudad Futura, la Joya, El Comerciante y El Nazareno.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10. Total de viviendas por manzana en Asoc. Ciudad Futura.

Habilitación Urbana Sector de Viñani Distrito GREGORIO Albarracín Lanchipa			
5 Pampas de Viñani			
Nº Orden	ASOC. De Vivienda	Nº. de Mz.	Cantidad de Viviendas x Mz.
1	Ciudad Futura	100	34.00
2	Ciudad Futura	101	22.00
3	Ciudad Futura	102	30.00
4	Ciudad Futura	103	34.00
5	Ciudad Futura	104	20.00
Total, de viviendas			140.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 11. Total de viviendas por manzana en Asoc. El Comerciante

Habilitación Urbana Sector de Viñani Distrito GREGORIO Albarracín Lanchipa			
6 Pampas de Viñani			
Nº Orden	ASOC. De Vivienda	Nº. de Mz.	Cantidad de Viviendas x Mz.
1	El Comerciante	105	34.00
2	El Comerciante	106	22.00
3	El Comerciante	107	30.00
4	El Comerciante	108	34.00
5	El Comerciante	109	20.00
Total, de viviendas			140.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 12. Total de viviendas por manzana en Asoc. La Joya

Habilitación Urbana Sector de Viñani Distrito GREGORIO Albarracín Lanchipa			
7 Pampas de Viñani			
Nº Orden	ASOC. De Vivienda	Nº. de Mz.	Cantidad de Viviendas x Mz.
1	La Joya	110	20.00
2	La Joya	111	30.00
3	La Joya	112	27.00
4	La Joya	113	32.00
5	La Joya	114	20.00
Total, de viviendas			129.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 13. Total de viviendas por manzana en Asoc. El Nazareno

Habilitación Urbana Sector de Viñani Distrito GREGORIO Albarracín Lanchipa			
8	Pampas de Viñani		
Nº Orden	ASOC. De Vivienda	Nº. de Mz.	Cantidad de Viviendas x Mz.
1	El Nazareno	115	31.00
2	El Nazareno	116	28.00
3	El Nazareno	117	28.00
4	El Nazareno	118	30.00
5	El Nazareno	119	20.00
Total, de viviendas			137.00

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.3.8. Los Florales

La asociación de vivienda Los Florales está distribuida en 06 manzanas numeradas desde la Manzana Nº 120 hasta la manzana Nº 125, cuenta con 121 lotes de vivienda. Representa 3.99% suscriptores, sin considerar que en algunas viviendas puedan vivir hasta 2 familias.

#### 4.3.9. La Perla

La asociación de vivienda La Perla: está distribuida en 06 manzanas numeradas desde la Manzana Nº 126 hasta la manzana Nº 131, cuenta con 145 lotes de vivienda. Representa 4.78% suscriptores, sin considerar que en algunas viviendas puedan vivir hasta 2 familias.

#### 4.3.10. Ex Combatientes del Cenepa

La asociación de vivienda Ex Combatientes del Cenepa está distribuida en 02 manzanas numeradas desde la Manzana Nº 132 hasta la manzana Nº 133, cuenta con 59 lotes de vivienda. Representa 1.94% suscriptores, sin considerar que en algunas viviendas puedan vivir hasta 2 familias.

#### 4.3.11. Los Geranios

La asociación de vivienda Los Geranios está distribuida en 06 manzanas numeradas desde la Manzana Nº 134 hasta la manzana Nº 139, cuenta con 154 lotes de vivienda. Representa 5.08% suscriptores sin considerar que en algunas viviendas puedan vivir hasta 2 familias.



Figura 50. Distribución en asociaciones Los Florales, Ex Combatientes del Cenepa, La Perla y Los Geranios.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 14. Total de viviendas por manzana en Asoc. Los Florales.

Habilitación Urbana Sector de Viñani Distrito GREGORIO Albarracín Lanchipa			
9 Pampas de Viñani			
Nº Orden	ASOC. De Vivienda	Nº. de Mz.	Cantidad de Viviendas x Mz.
1	Los Florales	120	16.00
2	Los Florales	121	18.00
3	Los Florales	122	16.00
4	Los Florales	123	16.00
5	Los Florales	124	19.00
6	Los Florales	125	36.00
Total, de viviendas			121.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 15. Total de viviendas por manzana en Asoc. La Perla.

Habilitación Urbana Sector de Viñani Distrito GREGORIO Albarracín Lanchipa			
10	Pampas de Viñani		
Nº Orden	ASOC. De Vivienda	Nº. de Mz.	Cantidad de Viviendas x Mz.
1	La Perla	126	33.00
2	La Perla	127	34.00
3	La Perla	128	19.00
4	La Perla	129	19.00
5	La Perla	130	21.00
6	La Perla	131	19.00
Total, de viviendas			145.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16. Total de viviendas por manzana en Asoc. Ex Combatientes del Cenepa.

Habilitación Urbana Sector de Viñani Distrito GREGORIO Albarracín Lanchipa			
11	Pampas de Viñani		
Nº Orden	ASOC. De Vivienda	Nº. de Mz.	Cantidad de Viviendas x Mz.
1	Ex Combatientes del Cenepa	132	21.00
2	Ex Combatientes del Cenepa	133	38.00
Total, de viviendas			59.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17. Total de viviendas por manzana en Asoc. Los Geranios.

Habilitación Urbana Sector de Viñani Distrito GREGORIO Albarracín Lanchipa			
12	Pampas de Viñani		
Nº Orden	ASOC. De Vivienda	Nº. de Mz.	Cantidad de Viviendas x Mz.
1	Los Geranios	134	37.00
2	Los Geranios	135	15.00
3	Los Geranios	136	29.00
4	Los Geranios	137	20.00
5	Los Geranios	138	34.00
6	Los Geranios	139	19.00
Total, de viviendas			154.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 18. Consolidado general de viviendas por Asoc. (Muestra de usuarios o suscriptores).

<b>Consolidado de viviendas por Asoc.</b>		
1	Total, de viviendas en Ciudad de paz	666.00
2	Total, de viviendas en paseo de los Héroes	755.00
3	Total, de viviendas en Virgen de la Candelaria	52.00
4	Total, de viviendas en Villa Colonial	536.00
5	Total, de viviendas en Ciudad Futura	140.00
6	Total, de viviendas en El comerciante	140.00
7	Total, de viviendas en La Joya	129.00
8	Total, de viviendas en El Nazareno	137.00
9	Total, de viviendas en Los Florales	121.00
10	Total, de viviendas en La Perla	145.00
11	Total, de viviendas en Ex combatientes del Cenepa	59.00
12	Total, de viviendas en Los Geranios	154.00
	<b>Total de viviendas</b>	<b>3034.00</b>

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.4. REQUERIMIENTO DE BANDA ANCHA GENERADA DE LOS DISTINTOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES

En la tabla 19 se muestra el detalle de banda ancha a proveer a cada usuario suscriptor. Este cálculo es determinante para la distribución y la cantidad de paquetes da ancho de banda a contratar para la redistribución de los servicios de banda ancha. Además, a partir de los resultados obtenidos podremos definir el tipo de red a elegir, la cantidad de divisores ópticos a usar y el número de puertos GPON necesarios para una cantidad definida de usuarios.

Tabla 19. Requerimiento de Banda Ancha.

SERVICIO	Ancho de Banda		Unidad
	Subida	Bajada	
Internet	2.0	20.0	Mbps
IPTV (3canales x 8Mbps)	0.1	16.0	Mbps
Telefonía	0.25	0.25	Mbps
<b>TOTAL</b>	<b>2.35</b>	<b>36.25</b>	<b>Mbps</b>

Fuente: Elaboración propia.

Consumo promedio por cada suscriptor es de 38.60 Mbps.

- **Demanda de servicio de voz (Telefonía):** El servicio de voz que se pretende ofrecer es de telefonía de voz sobre IP, el requerimiento para este servicio es de 0.5 Mbps.
- **Demanda de Servicio de datos (Internet):** Los servicios de transmisión de paquetes de data varían en función a su ancho de banda ofrecido, por lo cual se considera la mayor tasa de ancho de banda para cada usuario con 22 Mbps.
- **Demanda de Servicios de video (IPTV):** para los servicios de video como son de señal de televisión en formato: HDTV (TV en alta definición, 7.5Mbps), SDTV (TV en definición estándar, 4Mbps).

Las empresas operadoras de telecomunicaciones según la normativa de nuestro país garantizan el 40% de la velocidad ofertada, es decir en un paquete de 15.44 Mbps.

$$\text{Ecuacion 12. Velocidad Garantizada} = \text{Velocidad Contratada} \times 40\%$$

$$V.G. = 38.60 \text{ Mbps} \times 40\% = 15.44 \text{ Mbps.}$$

#### 4.5. OBTENCIÓN DE TASA DE TRANSMISIÓN EN BANDA ANCHA

El cálculo de la tasa de transmisión de cada suscriptor se encuentra sujeta al dimensionamiento de la red de acceso. Parte fundamental del presente trabajo de investigación, es el dimensionamiento del equipamiento de la red de distribución, acceso y terminación, así como la cabecera que se encuentra en la oficina central para poder realizar el cálculo de la tasa de transmisión.

Dentro de la red de distribución y red de acceso se encuentran dos niveles de divisores ópticos, se optó por usar para el primer nivel un divisor óptico 1:4 y para el segundo nivel, de 1:16. Por esta razón se obtendrá un hilo de fibra óptica para 64 suscriptores asociados a un solo puerto GPON.

Por esta razón se obtiene la tasa de transmisión para cada usuario suscriptor se puede calcular con la siguiente formula.

$$\text{Ecuación 13. Tasa de transmisión (bps)} = 2.488 \left(\frac{\text{Gbps}}{64}\right) = 38.87 \text{ Mbps}$$

#### 4.6. CÁLCULO DE PROYECCIÓN DE TRÁFICO DE RED EN BANDA ANCHA

Para realizar el cálculo del presupuesto de banda ancha a contratar debemos de considerar la cantidad de usuarios o suscriptores a los cuales vamos a proveer del servicio de internet. El margen de compresión que debe de tener cada enlace (over booking) y su rendimiento determinado en el porcentaje (throughput) determina la velocidad que va tener cada enlace.

Tabla 20. Margen de over booking.

Usuarios	Overbooking
<200	-
200	1/15
500	1/20
1000	1/30
4000	1/40
20000	1/50

Fuente: Elaboración propia.

Se debe multiplicar la cantidad de clientes por los Mbps contratados y por usuarios, esto nos da los Mbps requerido por usuario. Es necesario agregar un margen según el plan contratado por cada cliente. Para los clientes que contraten en planes menores hay la posibilidad que durante su conexión realicen un mayor tráfico de red y consumo de Mbps. Por tal motivo se debe considerar el margen de estrés 10%, 15%, 25%, 30% respectivamente y una relación de overbooking de 1/20 para 500 usuarios.

Tabla 21. Calculo de Requerimiento de Mbps (1:1) a Contratar.

Cientes	Planes (Mbps)	Capacidad	% Margen (Estrés)	%	Overbooking	Requerimiento Mbps
216,	5	1080	30	324	0.05	70.20
190	10	1900	25	475	0.05	118.75
160	15	2400	15	360	0.05	138.00
100	20	2000	10	200	0.05	110.00
			0	0	0.05	-
					0.05	-
666		7380				436.59

Fuente: Elaboración propia.

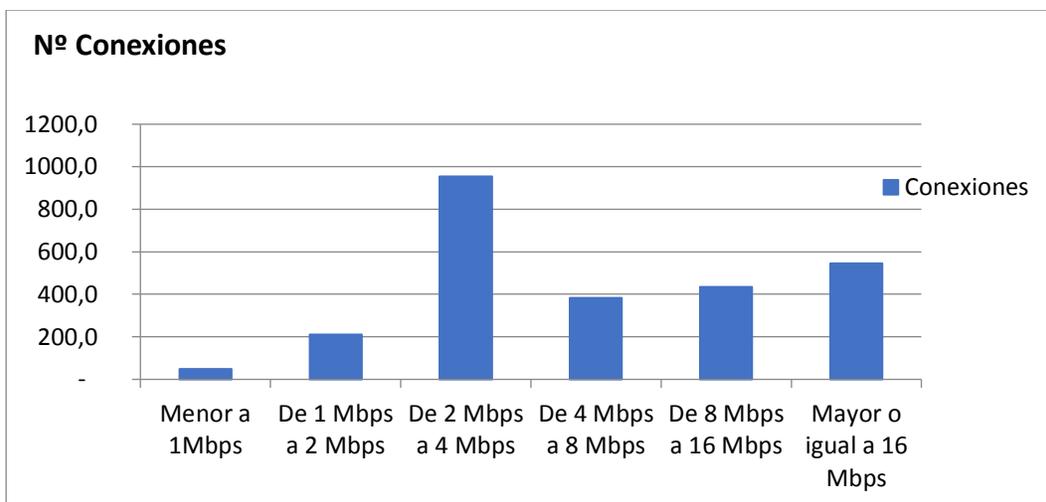


Figura 51. Conexión de acceso a internet fijo según velocidad de transmisión.

Fuente: Reporte de las empresas operadoras al MTC.

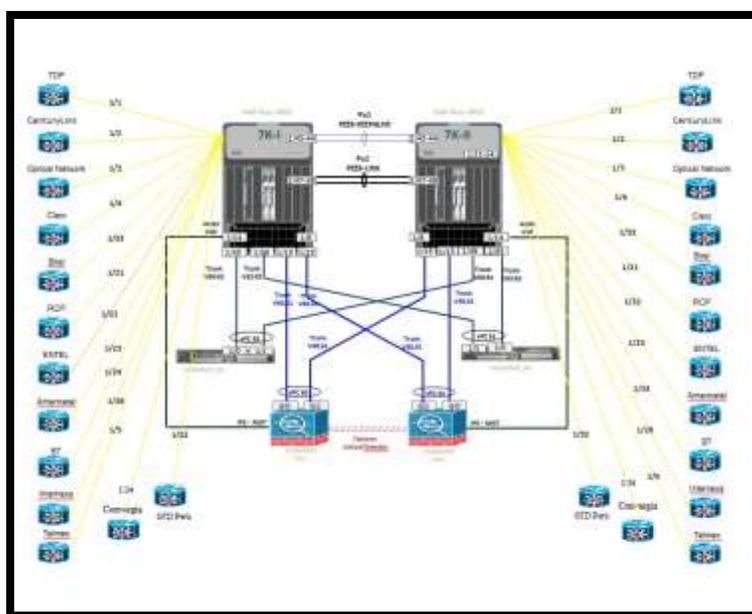


Figura 52. Topología de la Red Nap Perú (Asociación de operadores y proveedores de internet).

Fuente: <http://www.nap.pe/acerca-del-nap-peru/topologia-nap/>

Según la publicación en la página oficial [publimetro.pe](http://publimetro.pe) el Perú en el año 2017 registró un consumo promedio de 15.1 Mbps de internet. Para cumplir con nuestro objetivo es necesario la contratación del servicio llamado “Class Carrier” internet con capacidad de ancho de banda constante y asegurado al 100%, eso quiere decir una tasa

de overbooking 1:1, con conectividad de alcance global y con conexión directa al NAP Perú.

#### 4.7. ANÁLISIS DEL PRESUPUESTO DE ENLACE ÓPTICO

Para el presupuesto óptico se debe de determinar la ruta, el número de empalmes y conectores que cuenta el enlace óptico y la distancia del recorrido de la fibra óptica hasta los equipos suscriptores como son las ONTs. Para lo cual se debe determinar el margen del enlace óptico entre el equipo OLT y el último ONT más alejado de la OLT.

El siguiente esquema representa el enlace óptico el cual contiene una topología P2MP, con 2 niveles de divisores ópticos: el primer nivel de 1:4 y el segundo de 1:16. Para el enlace más lejano tendremos 16 empalmes por fusión de fibra óptica y 8 conectores ópticos.

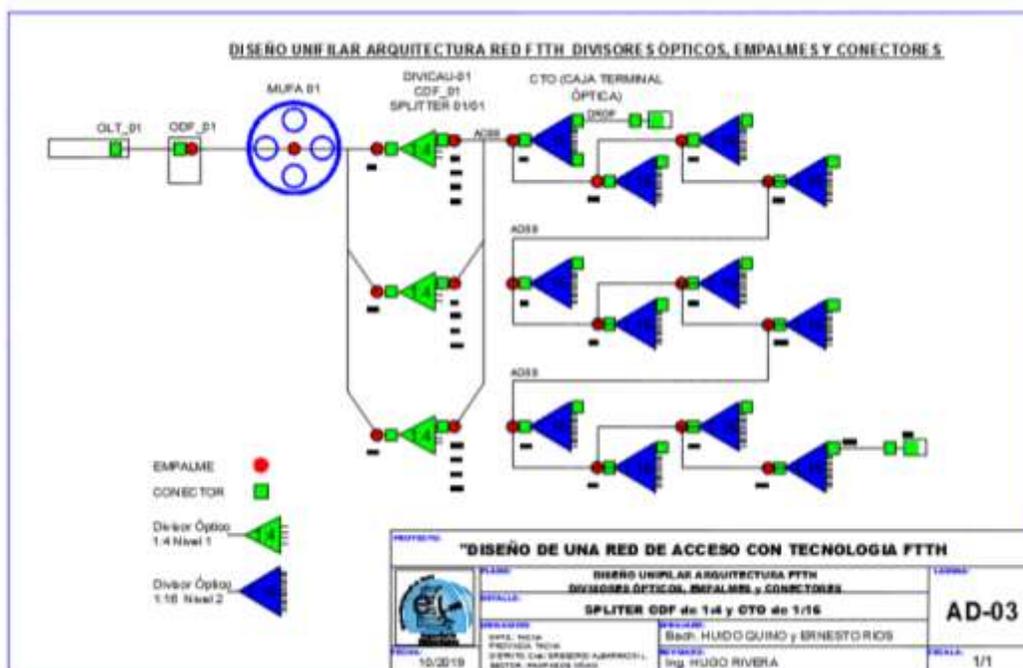


Figura 53. Arquitectura de red FTTH.

Fuente: Elaboración propia.

La normativa de la UIT-T G 984 del 2011 - estándar GPON de clase C+ indica la mínima y máxima atenuación óptica que deben de cumplir los equipos para certificar un enlace óptico. La cual mostramos en la siguiente tabla.

Tabla 22. Características de equipos activos según normativa.

Tipo de estándar	Normativa	Tx tipo de trama	Max. Dispersión por F. O.	Down	UP	Speed /Usuario	Protocolo nivel 2	Enlace	Atenuación óptica
APON (ATM passive Optical network)	UIT-T G 983	ATM	32	155 Mbps	155 Mbps	10-40 Mbps	ATM (Asynchronous Transfer Mode)	Max. 20 km	5-20 dB
BPON (Broadband PON)	UIT-T G 983	ATM	32	622 - 622 Mbps	155-622 Mbps	20-40 Mbps	ATM (Modo de transferencia asíncrona y síncrona)	Max. 20 km	10-25 dB
EPON (Ethernet PON)	IEEE 802.3ah	ETHERNET	32	1,2 Gbps	1,2 Gbps	30-60 Mbps	Ethernet PON	Max. 20 km	15-30 dB
GPON Clase B+	UIT-T G 984.2 (2008)	GEM	1:128(lógico ) 1:64 (real)	2,5 Gbps	1,2 Gbps	40-80 Mbps	Ethernet sobre ATM	Max. 20 km	13-28 dB
GPON Clase C+	UIT-T G 984 (2011)	GEM	1:128(logico ) 1:64 (real)	2,5 Gbps	1,2 Gbps	40-80 Mbps	Ethernet sobre ATM	Max. 20 km	17-32 dB
XG-PON 1	UIT-T G 987.2 (2010)	GEM	64-128	10 Gbps	2,5-10 Gbps	80-320 Mbps	combinación de ethernet y PON	Max. 20 km	14-29 dB
XG-PON 2	UIT-T G 987.2 (2010)	GEM	64-128	10 Gbps	2,5 - 10 Gbps	80-320 Mbps	combinación de ethernet y PON	Max. 20 km	16-31 dB
XG-PON E1	UIT-T G 987.2 (2010)	GEM	64-128	10 Gbps	2,5-10 Gbps	80-320 Mbps	CWDM y TDM	Max. 20 km	18-33 dB
XG-PON E2	UIT-T G 987.2 (2010)	GEM	64-128	10 Gbps	2,5 - 10 Gbps	80-320 Mbps	CWDM y TDM	Max. 20 km	20-35 dB

Fuente: Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2011.

Para realizar el cálculo y análisis del margen del enlace óptico se requiere tener las características técnicas de los equipos activos y pasivos de cada uno de los equipos involucrados para el enlace óptico. Como son:

### Componentes activos:

- OLT

Tabla 23. Característica técnica des equipo OLT.

Parámetro Técnico GPON OLT SFP Module Fabricante: ZTE GPON OLT Class C+ 23004200 SOGQ4321-PSGB-DM

	Min	Max	Accuracy	Calibration	Notas
TX Power	0 dBm	8 dBm	<u>2db</u>	Internal	1LSB=0,1 uW
RX Power	-30 dBm	-10 dbm	<u>3db @ 70 3dB 70</u>	External	1LSB=0,1 uW

Fuente: Elaboración propia.

- ONT

Tabla 24. Características técnicas de equipo ONT.

Parámetro Técnico GPON ONT Fabricante: DATOCOM GPON OLT Class C+					
	Min	Max	Accuracy	Calibration	Notas
TX Power	0,5 dBm	4 dBm	2db	Internal	1LSB=0,1 uW
Rx Receiving sensitivity	-28 dBm		3db@70 3dB 70	External	1LSB=0,1 uW

Fuente: Elaboración propia.

### Componentes pasivos:

- Divisor óptico 1:4

Tabla 25. Características técnicas del divisor óptico 1:4.

P/N:	PLC-ST-1X4-0,9MM-SA-L1M		S/N:	TP1903010086	
OPERATING WAVELENGTH(NM)	1260 1650		INSPECTED DATE	20190301	
FIBER TYPE	G657A1		FIBER LENGTH(M)	1	
CONNECTOR TYPE	SC/APC		PACKAGE DIMENSION (MM)	4*7*60	
STORAGE TEMPERATURE	40 85 (°C)		OPERATING TEMPERATURE	40 85 (°C)	
ITEM	IL(DB)		PDL (DB)	RL(DB)	
WAVELENGTH(NM)	1310	1550	1310	1550	1310 1550
SPEC	MAX 10,5		MAX 0,2		>=55
port1	6.77	6.44	0.05	0.04	pass pass
port2	6.76	6.54	0.11	0.09	pass pass
port3	6.82	6.56	0.04	0.03	pass pass
port4	7.26	7.1	0.04	0.03	pass pass
MAX	7.26	7.1	0.11	0.09	N/A
MIN	6.76	6.44	0.04	0.03	N/A
AVERAGE	6.9	6.65	0.06	0.05	N/A
UNIFORMITY(<= 0,6DB)	0.5	0.67	DIRECTIVITY (DB)		>=55

Fuente: Elaboración propia.

- Divisor óptico 1:16

Tabla 26. Característica técnica del divisor óptico 1:16.

P/N:	Minu Tube Splitters PLC 1		S/N:	1904100106		
Operating Wavelength(nm)	1260 1650		Inspected Date	20190410		
Fiber type	G657A1		Fiber length(m)	1		
Connector Type	SC/APC		Package Dimension (mm)	4*7*60		
Storage temperature			Operating temperature	40 85		
Item	IL(dB)		PDL (dB)		RL(dB)	
Wavelength(nm)	1310	1550	1310	1550	1310	1550
Spec	Max 10,5		MAX 0,2		>=55	
port1	13.02	13.5	0.07	0.07	pass	pass
port2	13.05	13.2	0.09	0.08	pass	pass
port3	13.2	13.4	0.02	0.04	pass	pass
port4	13.05	13.41	0.05	0.03	pass	pass
port5	13.6	13.21	0.08	0.02	pass	pass
port6	13.15	13.51	0.11	0.01	pass	pass
port7	13.12	13.52	0.14	0.02	pass	pass
port8	13.14	13.54	0.17	-0.01	pass	pass
port9	13.16	13.23	0.019	-0.02	pass	pass
port10	13.17	13.21	0.23	-0.03	pass	pass
port11	13.2	13.23	0.26	-0.04	pass	pass
port12	13.19	13.16	0.29	-0.05	pass	pass
port13	13.13	13.25	0.32	-0.06	pass	pass
port14	13.02	13.24	0.35	-0.07	pass	pass
port15	13.16	13.26	0.38	-0.08	pass	pass
port16	13.18	13.32	0.41	-0.09	pass	pass
Max	13.08	13.6	0.1	0.09	N/A	
min	13.02	13.02	0.02	0.03	N/A	
average	13.2	13	0.06	0.06	N/A	
Uniformity(<= 0,13dB)	0.31	0.27	Directivity (dB)		>=55	

Fuente: Elaboración propia.

- Fibra monomodo ADSS

Tabla 27. Características técnicas del cable de fibra óptica ADSS.

Tipo de fibra óptica	Single-modo
Categoría	G.652.D
Código de fibra óptica	H
Longitud de onda (nm)	1310/1383/1550
Atenuación (dB/km)	0,36/0,36/0,25
Diámetro de f. o.	<a href="#">9.2+-0.5@1310nm</a>
longitud de onda de corte (nm)	1260

Fuente: Elaboración propia.

- Fibra óptica DROP

Tabla 28. Característica técnica del cable de fibra óptica DROP.

Type:	FTTH 1F Outdoor	
Cable diameter:	2,0*5,0mm	
Attenuation (dB/km)	1310 nm	0.334
	1550 nm	0.189
	1288-1339 nm	3.5
dispersion coefficient Ps/(nm,km)	1271-1360 nm	5.3
	1550 nm	18
Cladding diameter (um)	125	
Cladding non-circularity (%)	1	
Coating diameter (um)	245	
Cladding-coating concentricity error (um)	12.5	
Mode fiel diameter"1310nm (um)	9.2	
Mode field concentricity error(um9	0.5	
Cable cut-off wavelength (nm)	1260	
of attenuation (dB)	0.05	
Zero chromatic dispersion wavelength(nm)	1300-1324	
Chromatic dispersion Slope (ps/(nm <sup>2</sup> .km))	0.093	
Cable diameter (nm)	2,0*50,	
Thicknes of the messenger wire (mm)	1	
Cable jacket color	Black	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8. ARQUITECTURA DE LA RED DE ACCESO

La red de acceso FTTH está comprendida en una red pasiva que deberá estar interconectada desde el equipo OLT ubicado en la oficina central y el equipo ONT ubicado en el local del cliente, entre estos puntos de conexión se extiende una red de equipos ópticos, la distancia máxima entre estos equipos no deberá superar la distancia lineal de 20Km para el tramo más distante del cliente, para garantizar que la atenuación óptica total desde la OLT hasta la ONT no supere los 28 dB. De esta manera se logra un margen óptico aceptable.

El diseño contempla una arquitectura del tipo distribuida la cual nos permite alcanzar a mayor cantidad posible de clientes y con el menor presupuesto posible para el despliegue de la red. También se contempla la implementación hasta dos niveles de divisores ópticos en la red, ubicados cerca de los locales de los usuarios finales.

La arquitectura de red distribuida es más utilizada por su propósito de brindar a mayor número y densidad de clientes, de tal manera reducir los costos de construcción, mantenimiento y mejor escalabilidad por la cantidad total de número de hilos de fibra óptica a utilizar.

Para el diseño y construcción de una red PON se está considerando lo siguiente:

- El sistema de transmisión a utilizar.
- El número de clientes, incluyendo las previsiones de la demanda.
- La calidad de funcionamiento de transmisión de la red PON y la calidad de funcionamiento óptica del componente de derivación (fibra óptica).

Basados en las características que debe de tener una red PON en cada zona, se debe de seleccionar la cantidad de componentes de derivación de la fibra óptica y la redundancia para el soporte de la red de fibra óptica con tecnología FTTH.

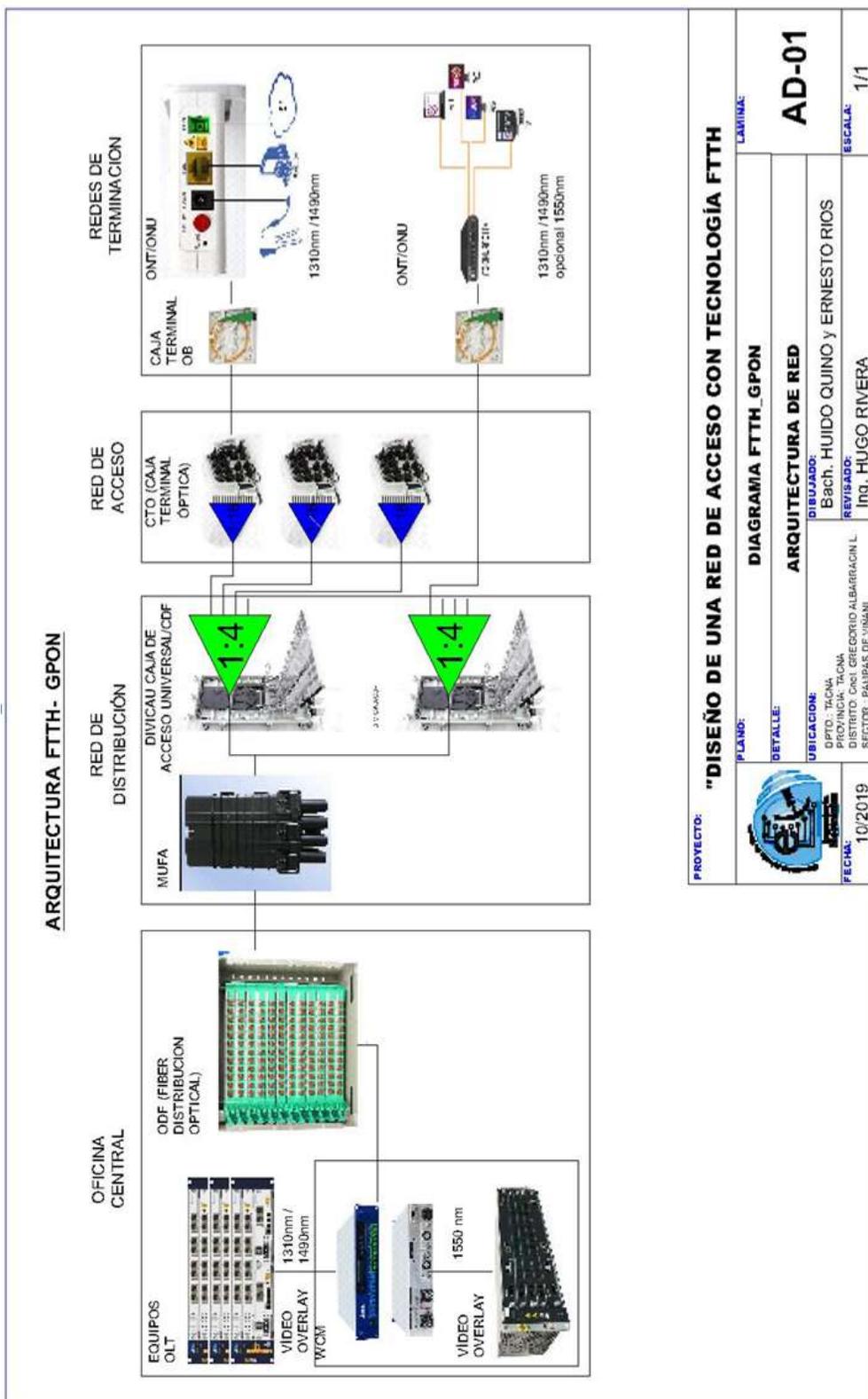


Figura 54. Arquitectura FTT – GPON.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.9. DETERMINACIÓN DE PRINCIPALES PARÁMETROS PARA GPON

La norma ITU-T G.984.x (x = 1, 2, 3, 4, 5, 6) (ITU-T, 2011) hace una recomendación para el diseño y construcción de redes GPON, esta norma apoya en el diseño y certificación de topologías GPON, además proporciona un criterio amplio para optimizar los recursos como son equipos pasivos, que son parte de la red GPON y da visión en los diseños ideales para evitar realizar rectificaciones en las etapas de la construcción.

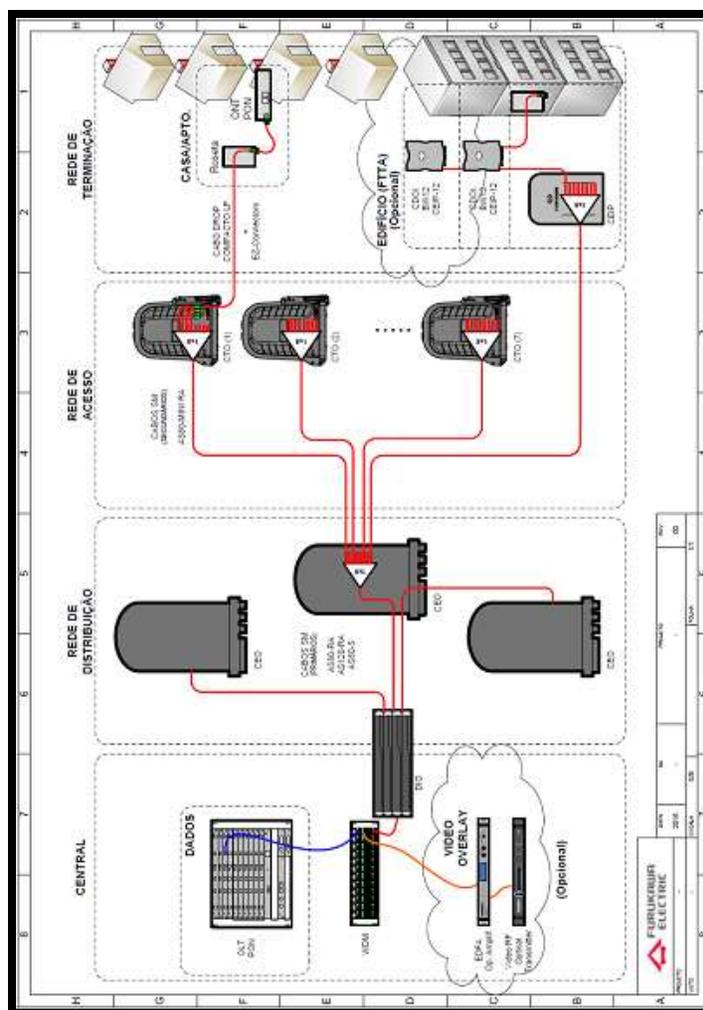


Figura 55. Diagrama lógico de topología del proyecto.

Fuente: <https://www.efurukawa.com/ar/arme-su-red/resultado-preconf?solutionId=60001#close>.

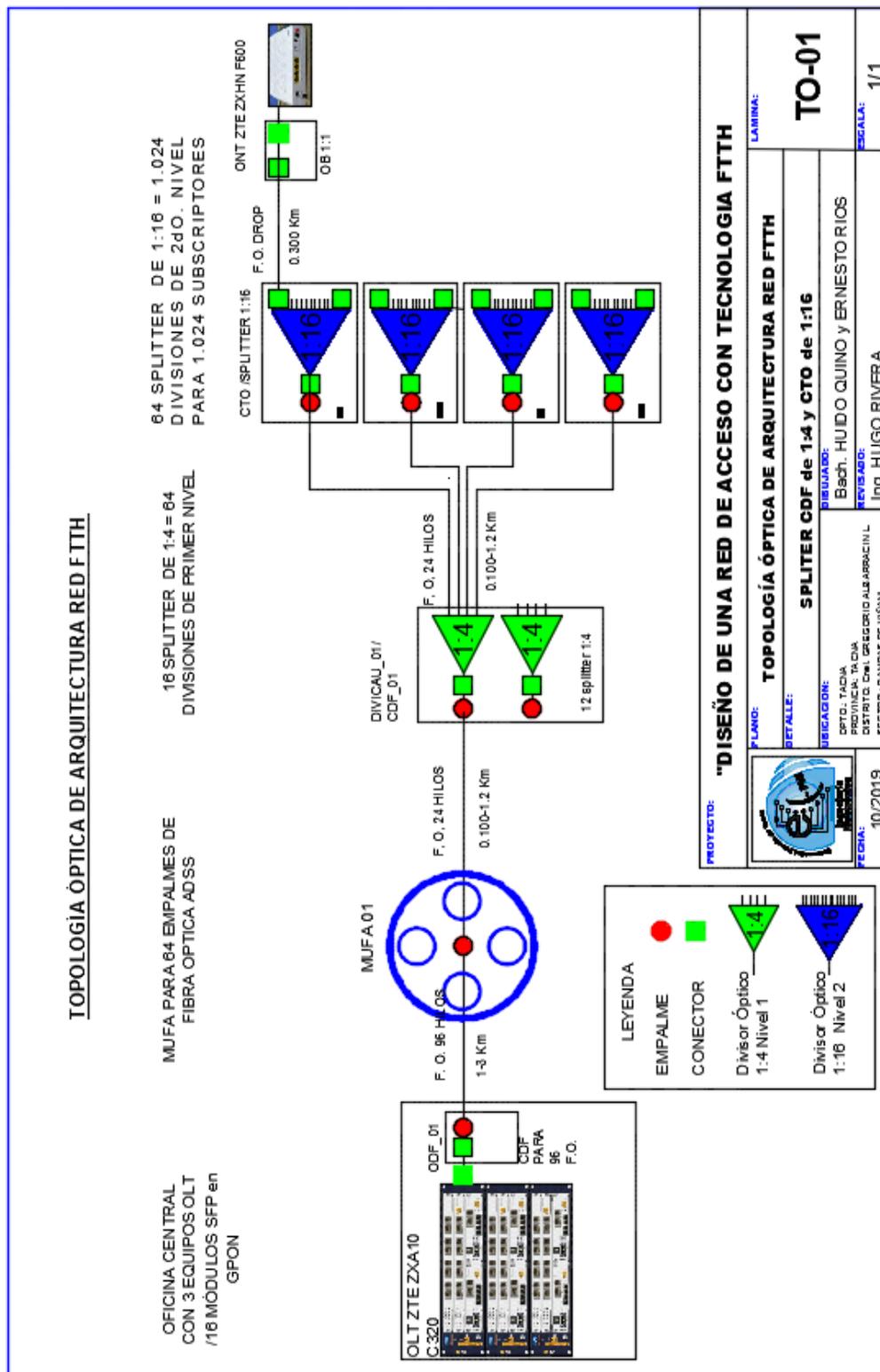


Figura 56.. Topología óptica de arquitectura de RED FTTH.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.10. DELIMITACIÓN DE TOPOLOGÍA FÍSICA DE ARQUITECTURA DE RED FTTH

Para la instalación aérea se ha considerado la característica técnica de la fibra óptica: SPAN, la cual está determinado por la estructura interna del cable, compuesta por las aramiditas y el kevlar que soporta la fuerza de tracción y la distancia máxima que soportará dicho cable de fibra óptica.

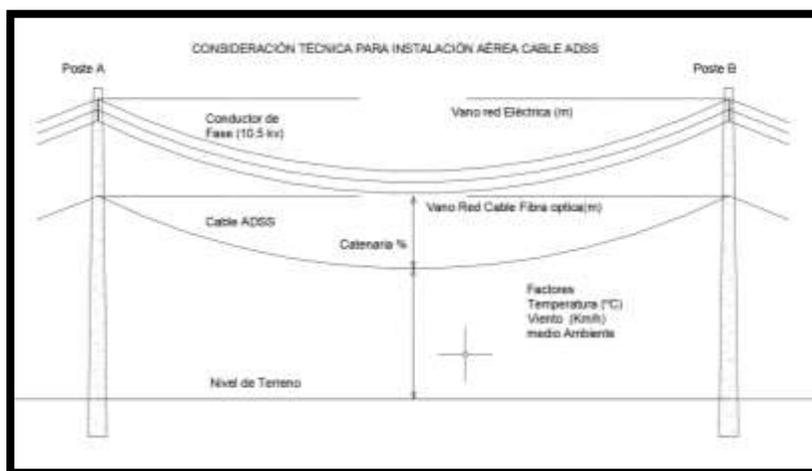


Figura 57. SPAM óptico.

Fuente: National Electric Safety Code.

Según la norma técnica NESC (National Electric Safety Code) recomienda considerar características como: temperatura de ambiente a ser instalado, Carga eólica, Campo potencial Eléctrico, descarga atmosférica y otros aspectos de medio ambiente.

##### 4.10.1. Red troncal

El desarrollo de ingeniería para la red troncal, es un puente de tráfico de internet para el acceso a la red WAN por medio de un nodo central del operador carrier (ISP, Proveedor de Servicios de Internet). Por lo cual se debe de considerar la identificación de la ruta de acceso hasta la oficina central del ISP, donde se ubica su nodo de distribución con el equipamiento de OLT.

Esta interconexión deberá de soportar la transmisión y recepción de grandes cantidades de Mbps, requiriendo un mayor ancho de banda con altas velocidades para soportar la prestación de servicios, seguridad y disponibilidad permanente de la información.



Figura 58. Red troncal.

Fuente: Google Earth.

#### 4.10.2. Red de distribución

La red de distribución parte desde la ubicación de la oficina central y ODF hasta la ubicación del punto de distribución que es la mufa 01, la cual permite realizar los empalmes y la redistribución de la red hasta la ubicación de los CDF de distribución donde están ubicados los divisores ópticos de primer nivel, esta red de distribución cuenta una línea de fibra óptica de redundancia para garantizar los servicios a los suscriptores. La red de distribución esta soportada en 56 postes y la red de redundancia en 40 postes de la red de distribución de energía eléctrica de la empresa ELECTROSUR. S.A.C.



Figura 59. Red distribución.

Fuente: Google Earth.

### 4.10.3. Red de acceso

La red de acceso de última milla está compuesta desde los divisores ópticos de nivel II, se interconectan hasta los suscriptores del servicio de triple play, esta red esta soportada en una red aérea, conjuntamente con la red de distribución de energía eléctrica de la empresa regional de distribución de energía eléctrica.



Figura 60 Red acceso.

Fuente: Google Earth.

### 4.11. CÁLCULO DE PRESUPUESTO ÓPTICO PARA RED EL ACCESO CON TECNOLOGÍA GPON

Determinación de cálculo de presupuesto óptico

$$At = (LFOF * (dB/km)) + (LFOD1 * (dB/km)) + (LFOD2 * (dB/km)) + (LFODrop * (db/Km)) + (S. Nivel1 * dB) + (S. Nivel2 * dB) + (C.C. * dB) + (C.E. * dB)$$

TdC: Tipo de cable

CTH: Color de tubo Holgado

Nº FO: Numero de fibra óptica

CFO: Color de hilo de fibra Óptica

LFOF: Longitud Cable fibra óptica FEEDER

S. Nivel1      Splitter Nivel 1  
LFOD1:        Longitud C. fibra óptica Distri.1  
S. Nivel2:     Splitter Nivel 2  
LFOD2:        Longitud C. fibra óptica Distri.2  
LFODrop:      Longitud C. fibra óptica Drop

C. C.: Cantidad de conectores

C. E.: Cantidad de empalmes

$$A_t = (\Sigma \text{dB/km LFOF}) + (\Sigma \text{dB/km LFOD1}) + (\Sigma \text{dB/km LFOD2}) + (\Sigma \text{dB/km LFODrop}) + (\Sigma \text{dB S. Nivel1}) + (\Sigma \text{dB S. Nivel2}) + (\Sigma \text{dB Conectores}) + (\Sigma \text{dB Empalmes})$$

Tabla 29. Parámetros necesarios para la determinación del cálculo del presupuesto del enlace óptico.

TdC	CTH	Nº F.O.	CFO	LFOF	S. Nivel1	LFOD1	S. Nivel2	LFOD2	LFODrop	Nc	Ne
			Color								
ADSS 24F	AZUL	1:01	AZUL	1.02	1.00	0.250	1.00	0.753	0.100	8.00	5.00
		1:02	ANARANJADO	1.02	1.00	0.250	1.00	0.753	0.100	8.00	6.00
		1:03	VERDE	1.02	1.00	0.250	1.00	0.701	0.100	8.00	7.00
		1:04	MARRON	1.02	1.00	0.250	1.00	0.868	0.100	8.00	8.00
		1:05	GRIS	1.02	1.00	0.287	1.00	0.720	0.100	8.00	9.00
		1:06	BLANCO	1.02	1.00	0.287	1.00	0.538	0.100	8.00	10.00
		1:07	ROJO	1.02	1.00	0.287	1.00	0.436	0.100	8.00	11.00
		1:08	NEGRO	1.02	1.00	0.287	1.00	0.513	0.100	8.00	12.00
		1:09	AMARILLO	1.02	1.00	1.155	1.00	0.663	0.100	8.00	13.00
		1:10	VIOLETA	1.02	1.00	1.155	1.00	0.694	0.100	8.00	14.00
		1:11	ROSADO	1.02	1.00	1.155	1.00	0.490	0.100	8.00	15.00
		1:12	CELESTE	1.02	1.00	1.155	1.00	1.219	0.100	8.00	16.00
	ANARANJADO	2:01	AZUL	1.02	1.00	1.231	1.00	1.587	0.100	8.00	17.00
		2:02	ANARANJADO	1.02	1.00	1.231	1.00	1.378	0.100	8.00	18.00
2:03		VERDE	1.02	1.00	1.231	1.00	0.686	0.100	8.00	19.00	
2:04		MARRON	1.02	1.00	1.231	1.00	0.806	0.100	8.00	20.00	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Parámetros necesarios para la determinación del cálculo del presupuesto del enlace óptico..

Nº F. O.	LFOF (96F) dB/km	S. Nivel1 (1:4) dB	LFOD1 (24 F) dB/Km	S. Nivel2 (1:16) dB	LFOD2 (24 F) db/Km	LFODrop (1 F) dB/km	Conector ( Ud.) dB	Empalme (Ud.) dB
1	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
2	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
3	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
4	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
5	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
6	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
7	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
8	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
9	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
10	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
11	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
12	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
13	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
14	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
15	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1
16	0.334	7.26	0.334	13.080	0.334	0.225	0.20	0.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Parámetros necesarios para la determinación del cálculo del presupuesto del enlace óptico..

Nº F. O.	LFOF (96F)	S. Nivel1 (1:4)	LFOD1 (24 F)	S. Nivel2 (1:16)	LFOD2 (24 F)	LFODrop (1 F)	T. Conectores	T. Empalmes	Total
	ΣdB/km	ΣdB	ΣdB/Km	ΣdB	Σdb/Km	ΣdB/km	ΣdB	ΣdB	ΣdB
1	0.341	7.26	0.084	13.080	0.252	0.023	1.60	0.50	<b>23.139</b>
2	0.341	7.26	0.084	13.080	0.252	0.023	1.60	0.60	<b>23.239</b>
3	0.341	7.26	0.084	13.080	0.234	0.023	1.60	0.70	<b>23.321</b>
4	0.341	7.26	0.084	13.080	0.290	0.023	1.60	0.80	<b>23.477</b>
5	0.341	7.26	0.096	13.080	0.240	0.023	1.60	0.90	<b>23.540</b>
6	0.341	7.26	0.096	13.080	0.180	0.023	1.60	1.00	<b>23.579</b>
7	0.341	7.26	0.096	13.080	0.146	0.023	1.60	1.10	<b>23.645</b>
8	0.341	7.26	0.096	13.080	0.171	0.023	1.60	1.20	<b>23.771</b>
9	0.341	7.26	0.386	13.080	0.221	0.023	1.60	1.30	<b>24.211</b>
10	0.341	7.26	0.386	13.080	0.232	0.023	1.60	1.40	<b>24.321</b>
11	0.341	7.26	0.386	13.080	0.164	0.023	1.60	1.50	<b>24.353</b>
12	0.341	7.26	0.386	13.080	0.407	0.023	1.60	1.60	<b>24.696</b>
13	0.341	7.26	0.411	13.080	0.530	0.023	1.60	1.70	<b>24.945</b>
14	0.341	7.26	0.411	13.080	0.460	0.023	1.60	1.80	<b>24.975</b>
15	0.341	7.26	0.411	13.080	0.229	0.023	1.60	1.90	<b>24.844</b>
16	0.341	7.26	0.411	13.080	0.269	0.023	1.60	2.00	<b>24.984</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Determinación del margen de atenuación óptica para OLT.

ítem	Parámetros	Cantidad	Valor de Atenuación	Presupuesto	Uni.
1.1	Potencia del transmisor TX			-	dBm
1.2	Sensibilidad del Receptor RX			30.00	dBm
A	MARGEN DE POTENCIA DISPONIBLE DEL SISTEMA			30.00	dB
2.1	Km. F. O. ADSS 96 HILOS	1.021	0.33	0.34	dB
2.2	SPLITER 1:4	1.000	7.26	7.26	dB
2.3	Km. F.O. 24 HILOS	0.250	0.33	0.08	dB
2.4	SPLITER 1:16	1.000	13.08	13.08	dB
2.5	Km. F.O. 24 HILOS	0.753	0.33	0.25	dB
2.6	Km. F.O. DROP 1 HILOS	0.100	0.23	0.023	dB
2.7	CONECTORES OLT-ONT	8.000	0.20	1.60	dB
2.8	EMPALMES OLT-ONT	5.000	0.10	0.50	dB
B	Total de pérdida en atenuaciones			23.13	dB
C=A-B	Margen de Enlace			6.87	dB

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Determinación de Margen de Atenuación Óptica para ONT

ítem	Parámetros	Cantidad	Valor de Atenuación	Presupuesto	Uni.
1.1	Potencia del transmisor TX			0.50	dBm
1.2	Sensibilidad del Receptor RX			28.00	dBm
A	MARGEN DE POTENCIA DISPONIBLE DEL SISTEMA			28.50	dB
2.1	Km. F. O. ADSS 96 HILOS	1.021	0.33	0.34	dB
2.2	SPLITER 1:4	1.000	7.26	7.26	dB
2.3	Km. F.O. 24 HILOS	1.231	0.33	0.41	dB
2.4	SPLITER 1:16	1.000	13.08	13.08	dB
2.5	Km. F.O. 24 HILOS	0.806	0.33	0.27	dB
2.6	Km. F.O. DROP 1 HILOS	0.100	0.23	0.023	dB
2.7	CONECTORES OLT-ONT	8.000	0.20	1.60	dB
2.8	EMPALMES OLT-ONT	20.000	0.10	2.00	dB
B	Total de pérdida en atenuaciones			24.98	dB
C=A-B	Margen de Enlace			3.52	dB

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Cálculo de margen de atenuación óptica con software de Huawei

HUAWEI INFO PON Link Planning				
No.	Name	Data		
1	OLT optical module type	GPON - Class C+		
2	ONU optical module type	GPON - Class C+		
3	Split ratio of the level-1 optical splitter	1:4		
4	Split ratio of the level-2 optical splitter	1:16		
5	Length of the feeder fiber	1.4 km		
6	Length of the distribution fiber	1 km		
7	Length of the drop fiber	0.98 km		
PON Link Planning				
No.	Name	Type	Attenuation (dB)	Data
1	Optical attenuation/km	Downstream	0,3	3.38 km
		Upstream	0,4	3.38 km
2	Connecting point	Fusion splicing	0,1	20
		Mechanical splicing	0,2	0
		Connector	0,3	6
		FMC	0,5	0
3	Split ratio	1:16	13,6	1
		1:8	10,3	0
		1:4	7,2	1
		1:2	3,8	0
4	Redundancy	Fiber ≤ 5 km	1	√
		5 km < Fiber < 10 km	2	
		Fiber ≥ 10 km	3	
5	Optical component	WDM1r	0,8	×
		Integrated EDFA	0,8	×
Calculation Result				
No.	Name	Formula	Estimation	
1	Downstream link attenuation	(Upstream/Downstream) Optical attenuation/km x Optical fiber length + Attenuation of the fusion splicing point x Number of the fusion splicing points + Attenuation of the mechanical splicing points x Number of mechanical splicing points + Attenuation of the connectors x Number of the connectors + Attenuation of the FMCs x Number of the FMCs + Attenuation of the optical splitter + Redundancy	26.61 dB (Normal) Normal range: 17 dB - 32 dB	
2	Upstream link attenuation	(Upstream/Downstream) Optical attenuation/km x Optical fiber length + Attenuation of the fusion splicing point x Number of the fusion splicing points + Attenuation of the mechanical splicing points x Number of mechanical splicing points + Attenuation of the connectors x Number of the connectors + Attenuation of the FMCs x Number of the FMCs + Attenuation of the optical splitter + Redundancy	26.95 dB (Normal) Normal range: 17 dB - 32 dB	

[https://support.huawei.com/online/toolweb/PON\\_Budget\\_Tool/index?language=en&domain=0](https://support.huawei.com/online/toolweb/PON_Budget_Tool/index?language=en&domain=0)

Fuente: Huawei.

Figura 61. Imagen de Calculator Link Budget PON de Huawei.

Fuente: Huawei.

## 4.12. ANÁLISIS DE ANCHO DE BANDA PARA CABLES DE FIBRA ÓPTICA

El ancho de banda para los cables de fibra óptica del tipo monomodo está determinado por los parámetros de dispersión cromática y la dispersión por modo de polarización, las cuales determinaran la distancia máxima de transmisión óptima.

En la actualidad en el mercado nacional e internacional encontramos diferentes fabricantes en cables de fibra óptica, los cuales indican diferentes valores de coeficientes de dispersión según su estándar y longitud de trabajo, los estándares más usados son los de la ITU G.652D y G.657 A1.

## 4.13. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES DEL DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO FTTH

### 4.13.1. Terminal de línea óptica (ZX10 C320 OLT - 16 GPON)

Es una solución por ser compacta y económica para proporcionar los servicios en FTTx, Admite 32 puertos xPON, 4 x 1GE (Optical) + 2 x GE (Electronic) o 2 x 10GE (Optical) + 2 x GE(Optical) + 2 x GE(Electronic). Chasis de 19" con 5 Slot, 2Slots para tarjetas universales, 2 Slots tarjetas para switch y control, puertos con conectores SFP+ el modelo está preparado para admitir 4096 clientes (ONU/ONT). La configuración de los clientes se realiza remotamente desde el sistema PSO (Software de gestión). El ZX A10 C320 cumple con ITU-T G984 y ITU-T G988 en equipo soporta velocidades descendentes de 2.488 Gbit/s y 1.244 Gbit/s en ascendente y ofrece la asignación dinámica del ancho de banda (DBA). Además, soporta fuente de alimentación de CA o CC en dos fuentes redundantes independientes y realización de mantenimiento en caliente, como también posee módulos de ventilación intercambiables en caliente.



Figura 62. Vista frontal equipo terminal OLT.

Fuente: <https://www.zte.com.cn/global/products/access/xpon/pon%20olt/424195>



Figura 63. Vista frontal tarjeta del modulo SFP.

Fuente: ZTE.

Características técnicas del equipo OLT para el diseño de FTTH.

- Subscriber Card Density.
- Tarjeta GPON: 8/16 puertos por tarjeta.
- Tarjeta XG-PON1: 8 puertos por tarjeta.
- P2P Tarjeta: 24/48 puertos por tarjeta.
- Tarjeta de interfaz de enlace ascendente
- Port 1 \* 10GE puerto óptico (Configurable 1 \* puerto óptico GE)
- 1 \* GE puerto óptico.
- 1 \* 10 M / 100 M / 1000 M Puerto Ethernet.
- Interfaces comunes
- 1 \* interfaz de detección de entorno.
- 1 \* interfaz de gestión.
- 1 \* interfaz serial de mantenimiento.
- Características de PON
- GPON compatible con ITU G.984.x
- P2P compatible con ITU G.985 / G.986
- XG-PON1 compatible con ITU G.987.x y G.988
- Soporta divisores ópticos de 1: 128 para xPON
- Soporte OLS (supervisión de láser óptico)
- Alcance lógico máximo: 60 km

- Alcance físico máximo: 20 km
- DBA de alta eficiencia: NSR-DBA, SR-DBA (reporte dinámico)
- Ethernet síncrono
- Potencia del transceptor GPON: clase B + o clase C +
- Potencia del transceptor XGPON1: Clase N1 y N2a
- Protección de enlace ascendente óptico tipo B y tipo C
- Soporta FEC, AES128, SCB
- GPON MCM (multicast)
- Soporte radiodifusión en de 1550 nm para CATV de terceros

#### 4.13.2. Módulo transceptor óptico (SFP) o mini GBI

Son conectores intercambiables en caliente, proporcionan conectividad de fibra óptica a un equipo de red. Así, conecta un dispositivo de red a una amplia variedad de tipos y distancias de cables de fibra óptica.

Número de pieza: (ZTE) SOGQ4321-PSGB-DM

Descripción: MÓDULO ÓPTICO C300 C320 GPON OLT C +



Figura 64. Módulo óptico SFP para tecnología Gpon.

Fuente: ZTE

#### Características:

- Enlaces de datos bidireccionales de fibra única Aplicación asimétrica TX 2488Mbps / RX1244Mbps.
- Transmisor láser DFB de modo continuo de 1490 nm y receptor APD-TIA de 1310 nm en modo de ráfaga.
- Paquete de factor de forma pequeño Paquete conectable con conector SC / APC.
- Compatible con la aplicación de rango de atenuación Clase C + 17 ~ 32dB (con FEC).
- Restablecer el diseño del receptor en modo ráfaga admite más de. 15dB rango dinámico.
- Temperatura de funcionamiento 0 a 70 ° C.
- Fuente de alimentación única de 3.3V.
- Interfaz de monitoreo de diagnóstico digital.
- Función de RSSI (Received Signal Strength indication) Indicador de intensidad de señal recibida, de ráfaga digital para monitorear la entrada óptica Nivel de potencia.
- Compatible con LVPECL (low-voltage positive-referenced emitter coupled logic) lógica acoplada por emisor de referencia positiva de bajo voltaje en Interfaz de entrada / salida de datos.
- Control de desactivación del transmisor LVTTL (bajo voltaje TTL) 3.3 V.
- Transmisor LVTTL alarma de falla láser receptor LVTTL Respuesta de indicación de detección de señal (SD) dentro de 50ns.
- Bajo EMI (interferencia electromagnética) y excelente protección contra ESD (Descargas electroestáticas).
- Estándar de seguridad láser Clase I Cumple con IEC-60825.
- Cumple con RoHS-6.

#### **4.13.3. Gabinete de distribución de fibra óptica (ODF)**

El ODF es el distribuidor de puntos de conexión entre la OLT y el cable troncal que compone la red de distribución, medio de conexión física de las suscriptoras ONT a la OLT. Dentro del gabinete ODF, se encuentra los empalmes realizados entre el cable de

la red de distribución y los pigtail ópticos que se conexionan con los módulos SFP del equipo OLT. La fibra de alimentación va desde el gabinete de distribución óptica (ODF) que se encuentra en la sala de telecomunicaciones de la oficina central (CO) hasta el punto de distribución óptica para coberturas de larga distancia. Los gabinetes de distribución cumplen en alojar los divisores ópticos para ser distribuidos hasta el punto de acceso óptico. El divisor de fibra conecta el punto de acceso óptico a los terminales (ONT), logrando así la repartición de la fibra óptica a los hogares de los usuarios. En resumen, la red de planta externa es el principal componente en las redes FTTH para la transmisión de datos en redes PON y su calidad afecta directamente al rendimiento, la confiabilidad y la escalabilidad de los sistemas en redes GPON.

#### Características técnicas de ODF.

- Temperatura de operación: -40°C to +45°C.
- Resistencia a la presión: 70 to 106kpa.
- Fuerza de tensión: 1000n (mínimum valué).
- Strength : 15kv (dc)/1 min, no flashover.
- Humedad relativa de operación: 8%.
- Puertos SC simplex: 24, 48, 96 ports.
- Montage: rack mount & wall mount.

## **4.14. DISEÑO DE RED DE DISTRIBUCIÓN**

### **4.14.1. Caja de acceso universal (DIVICAU)/CDF**

Caja de Empalme de fibra óptica con acceso universal cuenta con la capacidad de alojar divisores ópticos para segregación de cables, hasta 128 fibras ópticas (CAU 64/128), divisores ópticos de primera etapa para realizar la segregación y división de cables multifibra en el despliegue de redes ópticas de una arquitectura distribuida también llamada arquitectura punto-multipunto. El diseño de la caja permite la continuidad mecánica de los elementos de tracción de los cables y protege los hilos de fibra óptica, los conectores ópticos y los dispositivos ópticos facilitando la fusión y el almacenaje del sobrante de fibra. Cuenta con un sistema de bandejas en las cuales puede alojar hasta 10 divisores ópticos facilitando la gestión de los hilos de fibra óptica y la configuración del empalme. La caja es hermética y resistente a condiciones de inclemencias del medio ambiente a la intemperie por lo que permite la instalación en el

interior de buzones y en la parte superior de los postes de forma exterior o en paredes de edificios.

#### Características técnicas DIVICAU / CDF.

- 4 accesos independientes para cables ADSS de entrada/salida.
- Capacidad hasta 6 cables ópticos utilizando obturadores de cables múltiples.
- Diámetro entradas/salidas cables de 22 a 7 mm.
- Capacidad máxima de fusión hasta 128 f. o.
- La tapa de cierre se monta y retira totalmente sin necesidad de herramientas especiales gracias al cierre hermético tipo clip.
- El bloque soporta hasta 20 bandejas de empalme ordenados en forma rectangular las cuales facilitan el acceso conjuntamente con las pestañas extraíbles para un ordenamiento de los hilos de fibra óptica.
- Tanto el bloque de soporte como las bandejas individuales permiten el giro a 90° y su enclavamiento en posiciones fijas para facilitar la instalación, operación y mantenimiento.
- Adicionalmente, 2 bandejas para el alojamiento de divisores ópticos tipo PLC con capacidad hasta de 10 divisores del tipo 1x4.
- Tensión axial carga por cable  $> d/45 \text{ mm} \times 1000 \text{ n.}$  d: diámetro del cable.  
Desplazamiento del cable  $< 3 \text{ mm}$
- Flexión por cable: 30° flexión máx. 500 n. aplicación de la fuerza: a 400 mm del extremo del sellado.
- Torsión por cable: par de rotación máxima 90°/máx. 50 n. aplicación de la fuerza: a 400 mm del extremo del sellado.
- Temperatura de utilización -25 a +70 °c.
- Grado de protección contra impactos mecánicos ik09 (20 j).
- La caja una vez cerrada es totalmente hermética y resistente a condiciones de intemperie, grado de protección ip-68.
- Los materiales están diseñados para una duración mínima de 20 años
- Material de policarbonato de alta resistencia de color gris claro.
- Las bandejas son de policarbonato + ABS Color negro.
- Dimensiones (mm), 290 h, 665 a, 165 f.

#### **4.14.2. Cable ADSS 96/48/24 fibra óptica monomodo**

El cable ADSS tiene un tubo suelto trenzado. Dentro la fibra de 250  $\mu\text{m}$  se colocan en un tubo suelto hecho de plásticos. Los tubos se llenan con un compuesto de relleno resistente al agua. Los tubos (y los rellenos) están trenzados alrededor de un FRP (Plástico Reforzado con Fibra) como un elemento de fuerza central no metálico en un núcleo de cable compacto y circular.

El peso ligero y su diámetro del cable permite la instalación en redes aéreas y en tramos de distancias máximas hasta 1000 m, lo cual se le conoce como SPAM. Además, se puede instalar en diferentes regiones ya que soporta amplio rango de temperatura. Según el requerimiento del proyecto.

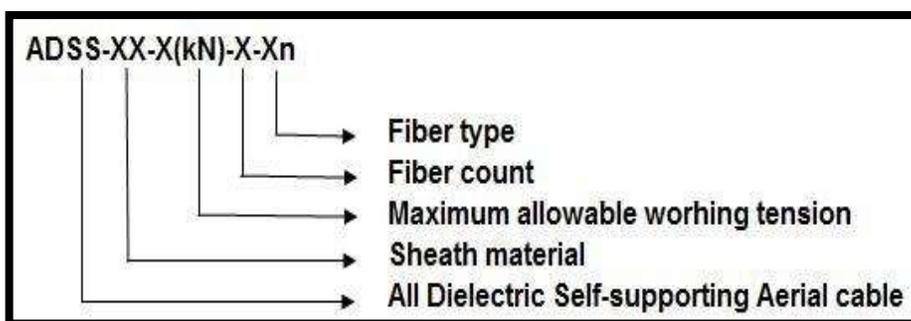


Figura 65. Código del cable ADSS.

Fuente: Nexus.com.pe

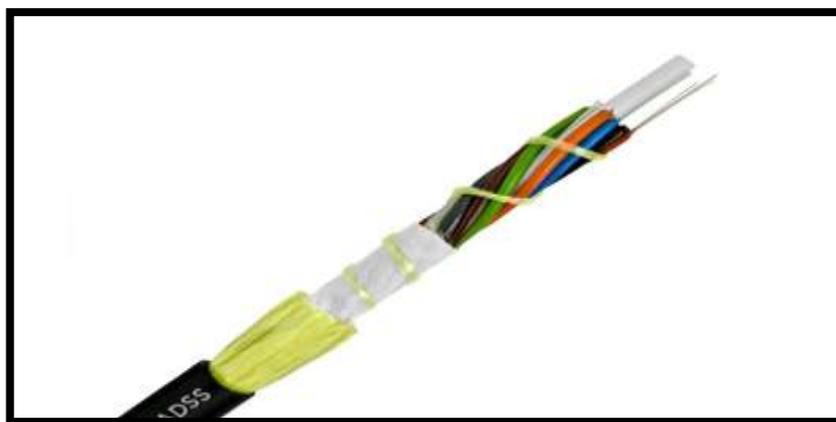


Figura 66. Cable de fibra óptica ADSS 96/48/24 SMF.

Fuente: Nexus.com.pe

#### 4.14.3. Divisor óptico de primer nivel 1:4

El divisor óptico es un componente pasivo que divide la señal óptica en una red PON, cuentan con la ventaja de ser fabricado con tecnología de semiconductores (PLC), fabricado con fibra de entrada y salidas del tipo g-657 de 1 metro de longitud y 0.9 mm de diámetro, terminación SC/APC compatibles con fibra óptica g.652d.

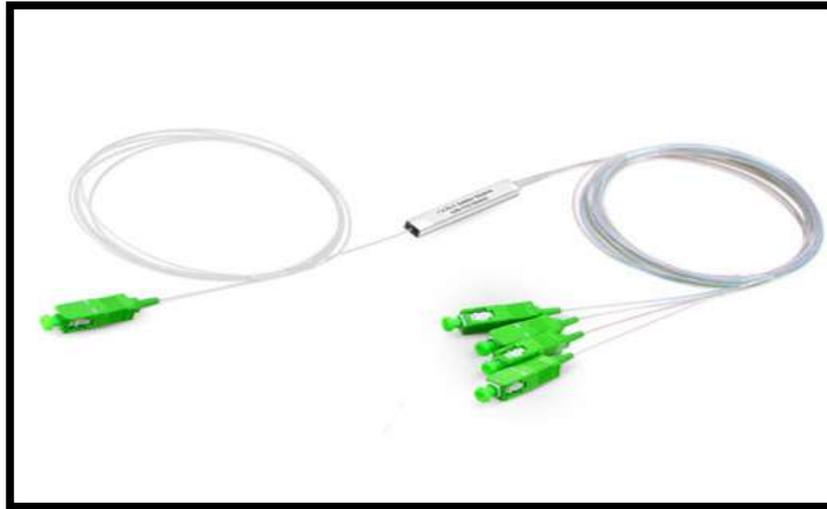


Figura 67. Divisor óptico 1x4 Tipo PLC.

Fuente: Elaboración propia.

## 4.15. DISEÑO DE RED DE ACCESO

### 4.15.1. Caja terminal óptica (CTO)

La caja terminal óptica permite la segregación de cables ópticos de la red de distribución, forma parte de la red de planta externa que se utiliza para la interconexión óptica entre la red de distribución con la red de dispersión, permite la conexión de las acometidas ópticas individuales hasta los usuarios. Las entradas a la caja están selladas con goma para impedir la entrada de polvo al interior de la caja, una tapa intermedia para protección de la bandeja de empalmes. Además, la caja dispone de elementos de canalización para los cordones de fibra óptica garantizando el trazado y radio de curvatura adecuados para los hilos de fibra óptica, una bandeja de empalme compacta, de fácil acceso para la fusión de los hilos de fibra óptica procedentes de la red de planta externa para ser unido por fusión con los pigtail que conecta mediante un adaptador con la entrada del divisor óptico. La bandeja permite su rotación a 90° y su extracción total para facilitar las tareas de instalación y mantenimiento. posee la facilidad de usar cables

de diferentes secciones de cable óptico de alimentación o de distribución. Permite la instalación para un divisor óptico pre-conectorizados.

Incorpora la zona de conexión con 16 adaptadores ópticos SC/APC con tapa de protección. la instalación es en forma vertical y en paralela al poste, esto permite el fácil acceso a los puertos de conexión, a los cuales serán interconectados con los cables drop para seguir su camino hasta los usuarios. La caja CTO cumple con grado de protección IP-65 contra la entrada de cuerpos sólidos, polvo y entrada de agua y sistema de seguridad de cierre. Grado de protección contra impactos mecánicos IK08 (5 J). Temperatura de utilización -5 a +60 °C. El material está fabricado bajo la norma de ensayo de Inflamabilidad según UL 94: Auto-extinguible,



Figura 68. Caja de terminación óptica CTO.

Fuente: Electroson telecomunicaciones s.a.

#### 4.15.2. Divisor óptico de segundo nivel 1:16

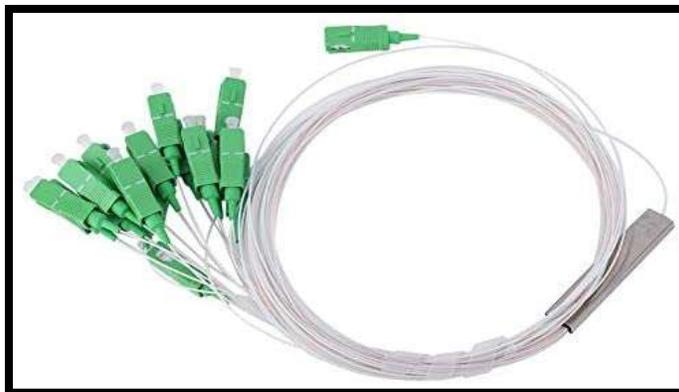


Figura 69. Divisor óptico 1x16 tipo PLC.

Fuente: Fuente propia

#### 4.16. Diseño de red de terminación

##### 4.16.1. Caja de terminal óptica

La caja de terminal óptica se emplea para terminación de la red FTTH, permite la terminación del cable de acometida tipo Drop, se instala dentro del edificio del cliente final. Estas cajas están diseñadas para alojar terminaciones mecánicas tipo SC de fibra óptica

El adaptador con tapa automática evita la salida de radiación láser, igual manera la contaminación del puerto de acople óptico.



Figura 70. Caja de terminación óptica o roseta óptica.

Fuente: Electroson telecomunicaciones s.a.

##### 4.16.2. Terminal óptico de red

El ZTE F612W (Optical network terminal/Optical network unit) Terminal de red óptica (ONT), equipo activo de tecnología PON, mismo equipo llamado ONU, sirve como la interfaz de la red ÓPTICA. Para entregar la señal eléctrica. La gama de terminales obedece a criterios de instalación y al tipo de servicios implementados. En sus conectores están disponibles señales multiple-play provisionadas en la cabecera de la OLT. Como por ejemplo Internet en alta velocidad (HSI: High Speed Internet), VoIP, WiFi, IPTV y/o RF Overlay, etc.



Figura 71. Vista de planta equipo terminal de red.

Fuente: fabricante ZTE

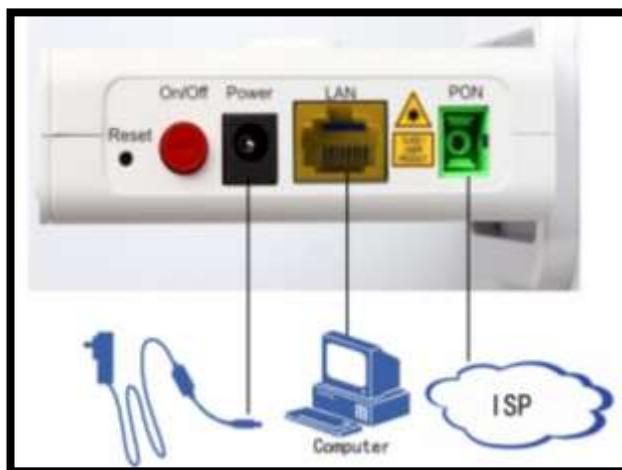


Figura 72. Vista perfil de puertos de equipo terminal ONT.

Fuente: Pagina Web ZTE

#### 4.16.3. Cable drop de uso exterior con conector reforzado tipo bayoneta

Permite la instalación en el exterior desde el la caja CTO hasta la terminal (Optical Box) OB por medio de tendido aéreo al interior del local del usuario. El cable está construido con un hilo de fibra óptica monomodo G-657 de baja sensibilidad a curvatura, protegido por dos recubrimientos concéntricos dentro de un tubo holgado y a su vez revestido por ambos lados con una línea de refuerzo para la protección de la fibra óptica y aramidas de fibras de vidrio para proporcionar resistencia mecánica al cable y una cubierta termoplástica externa resistente a condiciones de intemperie de material no propagador de la llama, baja emisión de humos y libre de halógenos (LSZH).

- Grado de protección IP 68.
- Conector óptico SC/APC.
- Cuenta con Tapón protector extraíble que protege de contaminación y deterioro de la férula del conector.
- Conexión / Desconexión Rápida y fácil con el CTO.
- Posee un dispositivo mecánico de anclaje firme y fiable mediante el giro y bloqueo del conector.
- La fabricación del cable y sus accesorios cumplen con la normativa RoHS.
- Resistencia torsión IEC 60794-1-2-E1
- Resistencia al impacto IEC 60794-1-E4
- Rango Temperatura -40° a 70°C Operativa (IEC 60794-1-2-F1)

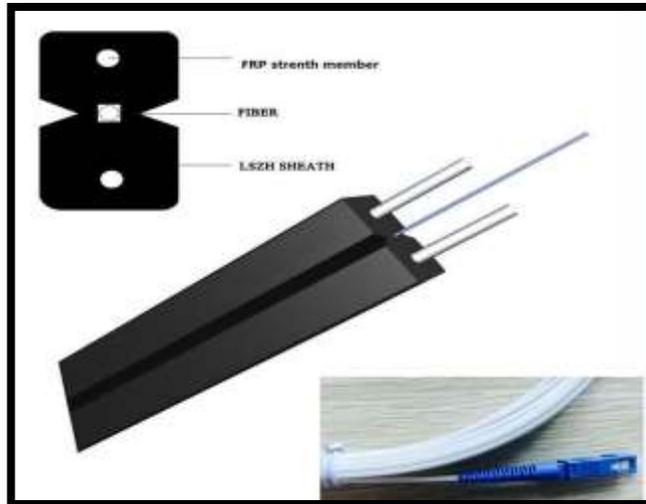


Figura 73. Imagen de cable de fibra óptica tipo drop.

Fuente: <http://www.fibresplitter.com/fiber-optical-cable/2-4-core-g657a-g657b-type-non-self-supporting.html>

## 5. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el presente trabajo se realizó el análisis económico teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Costo de equipamiento de planta externa y centro de control en los cuales estar implementado con equipos activos y pasivos para lo cual se realizó cotizaciones dentro del mercado de telecomunicaciones.
- Costo de trabajos previos, Capacitación, difusión y sensibilización, supervisión de la infraestructura y elaboración de expediente del proyecto para la obtención de las licencias correspondientes ante las entidades rectoras del ministerio de transportes y comunicaciones.
- Costo estimado de operación y mantenimiento del proyecto.

Realizaremos un análisis para los 10 años de inicio de las operaciones, para el análisis factible de la inversión en el presente proyecto realizaremos un análisis financiero la cual nos pueda brindar una visión de la inversión y retorno de la inversión requerida, permitir la sostenibilidad de la operación y mantenimiento.

Los cálculos estarán basados en CAPEX Y OPEX, sobre la base económica en soles y para equipos y materiales importados al tipo cambiario del BCR. 3.34 soles por dólar americano En referencia promedio anual del 2019. (BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ, s.f.)

### 5.1. COSTO DE INVERSIÓN CAPEX

Para los casos de empresas privadas como operadores de telecomunicaciones, se deben de cubrir todos los gastos que involucren instalación, explotación y mantenimiento de su infraestructura instalada.

El CAPEX traducido en Capital Expenditure, es la inversión que se realiza para la compra de bienes de equipos y la cual generara beneficios para la empresa, dicho esto, los equipos a adquirir como son los componentes de la oficina central, red de distribución, red de terminación.

En la tabla 35. detallamos los equipos y materiales para la implementación del diseño de la red de acceso:

**PROYECTO: RED DE ACCESO FTTH, GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA**

**CENTRO POBLADO: VIÑANI**

**DISTRITO: CORONEL GREGORIO ALBARRACÍN LANCHIPA.**

**PROVINCIA: TACNA**

**DPTO.: TACNA**

ÍTEM.	Descripción	UND.	Metrado	P. U. \$	Soles	TOTAL
<b>EQUIPOS Y MATERIALES</b>						
1.1	OLT GPON 8 puertos de salida SFP + 4 Puertos 10Gbps, software de administración incluido (CHASIS OLT GPON 320, AC/DC CONTROLADORA 1GE ZTE )	Unidad	6.0	3,600.00	12,600.00	75,600.00
1.2	Modulo SFP GPON ZTE SFP GPON-OLT CLASS C+(SPS-43-48H-CP-CDF-DM1) TARJETA DE LÍNEA GPON OLT DE 8 PUERTOS CON 8 MÓDULOS CLASS C+ T/R GPBD G+8 MÓDULO HUAWEI GPBD	Unidad	6.0	1,600.00	5,600.00	33,600.00
1.3	Modulo SFP class C+ 10Gpon	Unidad	48.0	280.00	980.00	47,040.00
1.4	ODF (Fiber distribución Optical)	Unidad	1.0	14.00	49.00	49.00
1.5	Cable patch cord SM simplex 3 m	Unidad	48.0	8.00	28.00	1,344.00
1.6	Cable patch cord SM Simplex 5 m (10 G)	Unidad	48.0	10.00	35.00	1,680.00
1.7	Gabinete de comunicaciones 48 RU	Unidad	2.0	460.00	1,610.00	3,220.00
<b>RED DE DISTRIBUCIÓN</b>						
2.1	Mufa 96 empalmes tipo domo	Unidad	8.0	120.00	420.00	3,360.00
2.2	Divicau (Caja de acceso universal /CDF )	Unidad	8.0	48.00	168.00	1,344.00
2.3	Divisor óptico 1:4 tipo PLC conectorizado SC/APC	Unidad	48.0	15.00	52.50	2,520.00
<b>RED DE ACCESO</b>						
3.1	Caja CTO (Caja terminal óptico) 1:16	Unidad	192.0	20.00	70.00	13,440.00
3.2	Divisor óptico 1:16 tipo PLC conectorizado SC/APC	Unidad	192.0	22.00	77.00	14,784.00
<b>REDES DE TERMINACIÓN</b>						
4.1	Caja terminal OB	Unidad	3,072.0	8.00	28.00	86,016.00
4.2	Cable patch Cord fibra Optica 3 m	Unidad	3,072.0	7.50	26.25	80,640.00
4.3	ONT / ONU (GPON 1GE DATOCOM DC-511RGB)	Unidad	3,072.0	20.00	70.00	215,040.00
<b>CABLES</b>						
5.1	Cable fibra Optica ADSS Spam 100 96 Hilos (96F SPAM 100MT SINGLE JACKET KHOMAX)	Unidad	4,000.0	2.80	9.80	39,200.00
5.2	Cable fibra Optica ADSS Spam 100 12 Hilos (12F SPAM 100MT DOBLE JACKET KHOMAX )	Metro	400.0	1.00	3.50	1,400.00
5.3	Cable drop G-657 (GJYXFCH DROP S.M. 1FC/MENSAJERO KHOMAX)	Metro	10,000.0	0.95	3.33	33,250.00
<b>EQUIPAMIENTO AUXILIAR</b>						
6.1	Unidad de power Supply (UPS) 10kva	Unidad	1.0	2,300.00	8,050.00	8,050.00
6.2	Banco de baterías	Unidad	1.0	1,200.00	4,200.00	4,200.00
6.3	Computadora de administración y soporte + monitor	Unidad	1.0	1,500.00	5,250.00	5,250.00
6.4	Impresora	Unidad	1.0	120.00	420.00	420.00
<b>INSTALACIÓN Y PUESTA EN SERVICIO</b>						
7.1	Mano de obra calificada	H/H	384.0	14.37	50.30	19,313.28

7.2	Mano de obra operarios	H/H	768.0	14.37	50.30	38,626.56
7.3	Maquinaria para su instalación	H/M	192.0	10.00	35.00	6,720.00
<b>OTROS</b>					-	-
8.3	Movilización de equipos y personal	Unidad	1.0	120.00	420.00	420.00
<b>COSTO</b>						736,526.84
<b>IMPUESTOS 18 %IGV</b>						132,574.83
<b>TOTAL</b>						869,101.67

Tabla 35. Costo Promedio de la inversión CAPEX.

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2. COSTO DE INVERSIÓN OPEX

El OPEX es el monto total del capital invertido para la operación, en el cual está involucrada la operación de red de telecomunicaciones, compra de planes de internet, reemplazos, mantenimiento, migraciones tecnológicas, entre otros servicios.

Se debe de considerar optimizar los servicios para lograr un óptimo índice de OPEX para la operación de una empresa de telecomunicaciones.

Según la tesis diseño de red de transporte sobre fibra óptica para incrementar la banda ancha de las regiones: Arequipa, Moquegua, Puno y Tacna realizado por ángel Jesús Núñez Pacheco de la universidad nacional de san Agustín de Arequipa, indica para la inversión de OPEX se debe de considerar un 5% según la tecnología del valor de la Capex como gasto de operación y mantenimiento, por otro lado los gastos administrativos se debe de considerar el 4% de la inversión, el 1% como reserva para reemplazos y reparaciones, además debemos considerar como impuestos para el MTC el 1%.

Tabla 36. Costo total de Opex.

Concepto	% de CAPEX	Costo
Operación y mantenimiento	5%	S/. 107.372,54
Gastos administrativos	4%	S/. 85.898,03
Averías y reparaciones	1%	S/. 21.474,51
Tributos (MTC, PRONATEL y OSIPTEL)	3%	S/. 53.686,27
<b>Total</b>		<b>S/. 268.431,36</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.3. FLUJO DE CAJA

Para la viabilidad de la inversión hemos realizado la comparación de costo promedio del mercado nacional de las tarifas de los planes de servicio de internet para servicios de telecomunicaciones sobre plataforma de fibra óptica, se obtuvo como referencia N° de suscriptores al 2018.

Tabla 37. Flujo de Caja según costo de planes de Mbps por consumo promedio.

Planes Mbps	Costo Mbps	% Clientes	Nº Clientes	Ingreso mensual
5	30	32.43	984	S/. 29.520,00
10	40	28.53	866	S/. 34.640,00
15	50	24.02	729	S/. 36.450,00
20	60	15.02	455	S/. 27.910,00
		100	3034	S/. 127.910,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Flujo de caja ingreso anual.

Ingreso mensual	Nº meses	Ingreso anual
S/. 127.910,00	12	S/. 1.534.920,00

Fuente: Elaboración propia.



## 6. CONCLUSIONES

Se logro diseñar una red de acceso con tecnología FTTH para distribuir servicios de banda ancha en distrito Gregorio Albarracín Lanchipa de la provincia de Tacna, para la cual se eligió la tecnología de acceso de telecomunicaciones que utiliza fibra óptica desde la cabecera hasta cada suscriptor pasando por medios netamente pasivos, esta tecnología usa los estándares técnicos aprobados por las entidades como la ITU-T

Se logró dimensionar y seleccionar los equipos necesarios para la red de acceso.

Aplicando el estándar GPON (Red óptica pasiva – Gigabit) se logró el diseño de la red de acceso.

Se alcanzó el objetivo de realizar un análisis técnico para implementar servicios Triple Play en banda ancha, empleando una red de acceso FTTH.

Con el presente diseño es posible proveer mayores posibilidades de acceso a las redes de internet y telecomunicaciones para suscriptores como: hogares y para usuarios corporativos como colegios, medianas y pequeñas empresas realizar un cálculo adicional para un enlace punto a punto con una tasa de transmisión simétrico utilizando la infraestructura pasiva de fibra óptica.

## 7. RECOMENDACIONES

Se recomienda a las empresas que pretendan brindar servicio de ISP realizar previamente el diseño una red de acceso con tecnología FTTH. Realizando un levantamiento de información de la zona.

Se recomienda dimensionar y seleccionar los equipos necesarios para la red de acceso que permitan la escalabilidad de la red.

Se recomienda usar el estándar GPON (Red óptica pasiva – Gigabit) para el diseño de la red de acceso.

Se recomienda realizar un análisis técnico previo a implementar servicios Triple Play en banda ancha de una red de acceso FTTH.

Se recomienda hacer un análisis geográfico de la zona para proveer mayores posibilidades de acceso a las redes de internet y telecomunicaciones.

## 8. Bibliografía

- Al-Quzwini, M. (2014). *Design and implementation of a Fiber to the Home acces network based on GPON*. New Jersey: International Journal of Computer Applications.
- Axess Network. (s.f.). PLC Splitters.
- Asensi Pla, J. S. (2011). *DESIGN OF PASSIVE OPTICAL NETWORK*. Valencia.
- BANCO CENTRAL DE RESERVA DEL PERÚ. (s.f.). *BCRPData*. Obtenido de <https://estadisticas.bcrp.gob.pe/estadisticas/series/anuales/resultados/PM05241PA-PM05242PA-PM05243PA-PM05244PA-PM05245PA-PM05246PA-PM05247PA-PM05248PA/html/2010/2020/>.
- Castillo, A. C. (2016). *Planificación y diseño de redes FTTH basadas en zonificación y servicios*. Universidad de Panamá.
- Commoscope. (09 de 2018). *Commoscope*. Obtenido de <https://es.commscope.com>
- EXFO. (2012). *La Guía FTTH PON*. Quebec City, Canada. Obtenido de <https://www.c3comunicaciones.es/Documentacion/Guia%20FTTH%20PON%20de%20EXFO%202013.pdf>
- Chomycz, B. (2001). *Instalación de fibra óptica, Fundamentos, técnicas y aplicaciones*. Latacunga.
- cortes, A. (2016). *RedesFTTH, tecnologías GPON, planificacion de la red, diseño de la red, red de fibra optica, nodo de acceso*. Panama: Texto del articulo Tecnologia a Fondo.
- Edison Quisnancela, N. E. (2016). *Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x*.
- FTTH Council Europe. (2016). *Creating a brighter future*. Europe: D&O Committee.
- FTTH Council Europe. (2016). *FTTH Handbook*. Pauline Rigby.
- G.Kramer, B. M. (2006). *Ethernet PON (EPON): Design and Analysis of a Optical Access Network*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Galeano Corchero, J. (2009). *Diseño e instalación de una red FTTH*. Madrid .
- Peres, W., Galperin, H., & Jordán, V. (2010). *Acelerando la revolución digital: banda ancha para América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile.
- Inacap, Universidad Tecnológica de Chile. (2010). *Redes ópticas pasivas*. Santiago de Chile.
- Khan, T. Z. (2016). *Design of Symme tric 10 Gbps Bi-Directional Wavelength Reused Optical Access Networks*. Bangladesh.

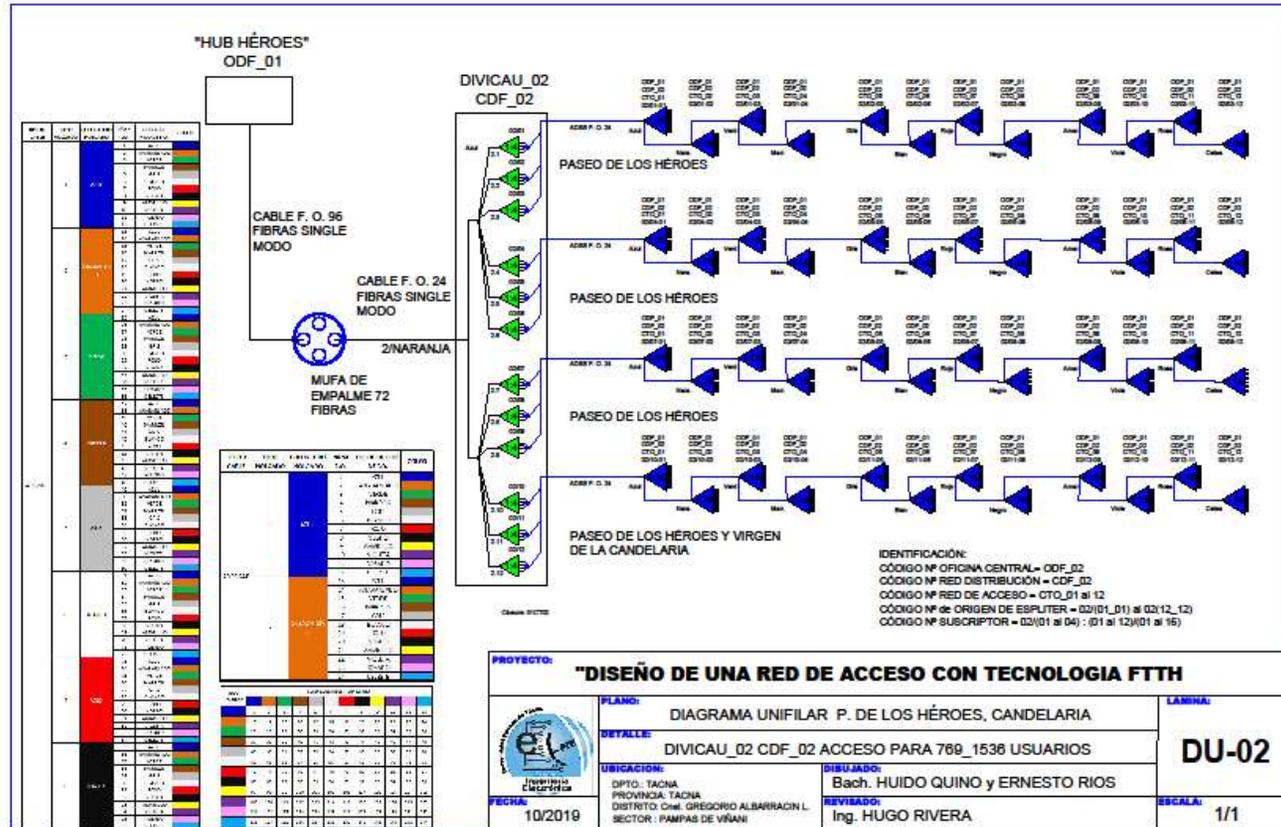
- Al-Quzwini, M. (2014). *Design and implementation of a Fiber to the Home acces network based on GPON*. New Jersey: International Journal of Computer Applications.
- Asensi Pla, J. S. (2011). *DESIGN OF PASSIVE OPTICAL NETWORK*. Valencia.
- Axess Network. (s.f.). PLC Splitters.
- Castillo, A. C. (2016). *Planificación y diseño de redes FTTH basadas en zonificación y servicios*. Universidad de Panamá.
- Chomycz, B. (2001). *Instalación de fribra óptica, Fundamentos, técnicas y aplicaciones*. Latacunga.
- cortes, A. (2016). *RedesFTTH, tecnologías GPON, planificacion de la red, diseño de la red, red de fibra optica, nodo de acceso*. Panama: Texto del articulo Tecnologia a Fondo.
- Edison Quisnancela, N. E. (2016). *Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x*.
- EXFO. (2012). *La Guía FTTH PON*. Quebec City, Canada. Obtenido de <https://www.c3comunicaciones.es/Documentacion/Guia%20FTTH%20PON%20de%20EXFO%202013.pdf>
- FTTH Council Europe. (2016). *FTTH Handbook*. Pauline Rigby.
- G.Kramer, B. M. (2006). *Ethernet PON (EPON): Design and Analysis of a Optical Access Network*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Galeano Corchero, J. (2009). *Diseño e instalación de una red FTTH*. Madrid .
- Inacap, Universidad Tecnológica de Chile. (2010). *Redes ópticas pasivas*. Santiago de Chile.
- Khan, T. Z. (2016). *Design of Symme tric 10 Gbps Bi-Directional Wavelength Reused Optical Access Networks*. Bangladesh.
- Laureles, J. (2016). *Incremental FTTH deployment planning*. Potchefstroom.
- Peres, W., Galperin, H., & Jordán, V. (2010). *Acelerando la revolución digital: banda ancha para América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile.
- UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES. (2003). *Recomendación UIT-T G.984.1 (Características generales)*.
- UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES. (2004). *ITU-T G.984 Especificación de la capa de convergencia de transmisión*.
- Unitronics . (2015). Nuevos estándares PON para sistemas FTTx. En P. Notario, *Redes de Fibra óptica* (págs. 62-64).
- Villacrés Valverde , J. C., & Muriel Bonilla , A. G. (2016). *ESTUDIO Y DISEÑO DE UNAREDDE PLANTA EXTERNA DE FIBRA ÓPTICA GPON PARA PROVEER*

*SERVICIOS DE VOZ, VIDEO Y DATOS APLICADO A LA CIUDAD DE ALAUSÍ PARA LA CNT EMPRESA PÚBLICA RIOBAMBA. Riobamba .*

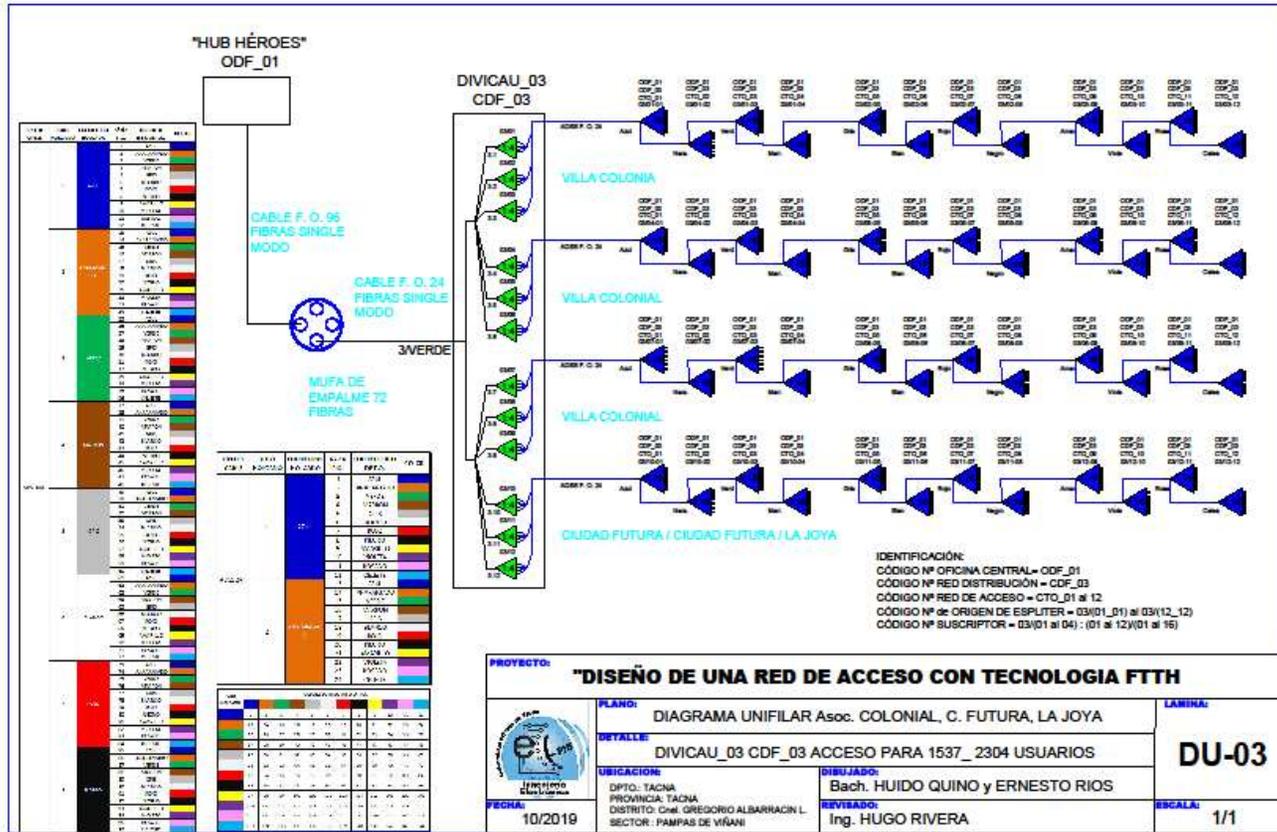
Villareal Jimenes , L. R. (1997). *SISTEMAS DE COMUNICACIÓN A TRAVÉS DE FIBRAS ÓPTICAS. San Nicolás de los Garza.*



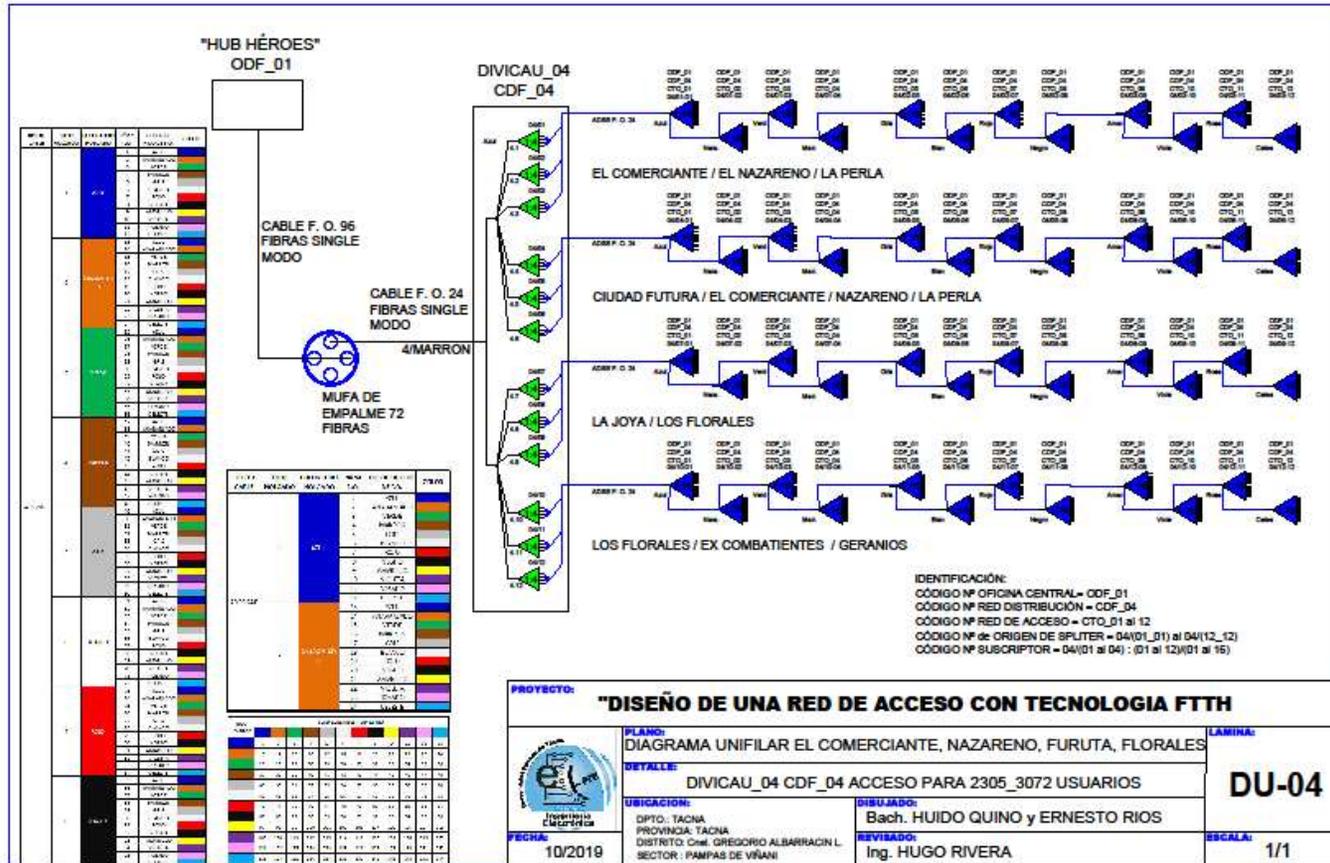
Anexo 2 Diagrama Unifilar de red de acceso con FTTH de Asoc. Paseo de los Héroes y Asoc. Candelarias.



Anexo 3 Diagrama Unifilar de red de acceso con FTTH de Asoc. Colonial y la Joya..



**Anexo 4** Diagrama Unifilar de red de acceso con FTTH de Asoc. El Comerciante, Nazareno, ciudad futura y los Florales.



**Anexo 5**

Catálogo de fabricante de equipamiento para redes FTTH

**Anexo 6**

Catálogo de fabricante de equipamiento para redes FTTH