



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO FTTH, UTILIZANDO EL ESTÁNDAR
GPON EN LA CIUDAD DE IBARRA PARA LA EMPRESA PUNTONET S.A.

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingeniero en Redes y
Telecomunicaciones.

Profesor Guía
MSc. Diego Fabián Paredes Páliz.

Autor
Pablo Gerardo García Sánchez.

Año
2016

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los trabajos de titulación”.

Diego Fabián Paredes Páliz

Master in Optical Communications and Photonic Technologies

CI: 060301414-3

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.”

Pablo Gerardo García Sánchez

CI: 171554887-9

AGRADECIMIENTO

A mis padres Carmela y Gerardo por el apoyo que me han brindado durante toda mi vida, lo que soy ahora es gracias a ustedes.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi esposa María Elena y a mi hija Martina quienes han guiado mi camino en estos últimos años, gracias por su paciencia y comprensión.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de una red de acceso FTTH, utilizando el estándar GPON en la ciudad de Ibarra para la empresa PUNTONET S.A., brindando una tecnología alternativa de acceso a los abonados de la empresa en esta ciudad.

En primer lugar, se indican los conceptos teóricos necesarios respecto a la fibra óptica y a la tecnología GPON, características, principios de funcionamiento, ventajas, desventajas. Se muestra las características generales de las redes PON, bajo la arquitectura FTTx. Además, se describe brevemente la tecnología inalámbrica de acceso MDBA con la que trabaja la empresa en esta ciudad y se la compara con la tecnología GPON, y se pone a consideración de manera general la normativa vigente en nuestro País para el despliegue de redes físicas.

Luego se describe el estado actual de la red de la empresa en la sucursal Ibarra, y en base a la localización geográfica de los abonados con los que cuenta PUNTONET, se procede con el diseño de la red FTTH bajo la tecnología GPON. Con el fin de ofrecer una nueva tecnología de acceso a los abonados que se encuentran en esta ciudad. Se indica la infraestructura activa y pasiva necesaria para implementar este tipo de redes y se muestra una zona tentativa de la ciudad donde la empresa podría ofrecer a sus abonados esta nueva tecnología.

En base al diseño propuesto, se realiza un análisis económico con costos referenciales de equipos y materiales que se necesitan para desplegar la red, se muestra el monto total de inversión que la empresa debería asumir, adicionalmente se analiza si el proyecto es o no rentable para su realización mediante indicadores de evaluación económica y se determina el tiempo que tomaría recuperar la inversión inicial.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto realizado.

ABSTRACT

This Project is aimed at the design of access network FTTH with GPON technology in the city of Ibarra for the company PUNTONET S.A. providing an alternative access technology to the subscribers of the company in this city.

First shown the necessary theoretical concepts respect to the fiber optic and GPON technology, features, operating principles, advantages, disadvantages. Shows the general characteristics of the passive optical networks PON, under the FTTx architecture. Also described briefly the wireless access technology MDBA, which works the company in this city and compared with GPON technology, and placed in consideration in general the legislation in our country for the deployment of physical networks.

Then, described the current state of the network of the company at the branch Ibarra, and based on the geographical location of the subscribers that features PUNTONET, proceeds with the design of the network FTTH under GPON technology. In order to provide a new access technology to the subscribers who are located in this city. Indicates the active and passive infrastructure necessary to implement this type of networks and shown a tentative area of the city where the company could offer this new technology to their subscribers.

Taking into consideration the proposed design, an economic analysis with reference costs of equipment and materials needed to the deploy the network is made, shows the total amount of investment that the company should assume, additionally discussed whether or not the project is profitable for its realization by means of indicators of economic evaluation and determines the time that it would take to recover the initial investment.

Finally, the conclusions and recommendations of the project are presented.

ÍNDICE

1. Fundamentos Teóricos	1
1.1 Fibra Óptica	1
1.1.1 Composición de la Fibra Óptica.....	1
1.1.2 Características de la fibra óptica	2
1.1.3 Principio de Transmisión	3
1.1.4 Ventajas y Desventajas en el uso de la fibra óptica	5
1.1.4.1 Ventajas	5
1.1.4.2 Desventajas	6
1.2 Tipos de fibra óptica	6
1.2.1 Fibra óptica multimodo	6
1.2.2 Fibra óptica monomodo.....	8
1.3 Dispersión en la fibra óptica	9
1.3.1 Dispersión modal	9
1.3.2 Dispersión cromática.....	9
1.4 Conectores.....	10
1.5 Funcionamiento sistema de comunicación óptica.....	12
1.6 Ventanas de transmisión.....	13
1.7 Redes de acceso de fibra óptica	15
1.7.1 FTTx.....	15
1.7.2 Arquitecturas FTTx.....	15
1.8 REDES PON	17
1.8.1 Estructura de una red PON	18
1.8.1.1 OLT <i>Optical Line Terminal</i>	18
1.8.1.2 Divisores ópticos (<i>splitters</i>)	19
1.8.1.3 ONT <i>Optical Network Terminal</i>	20
1.9 Estándares Redes PON	21
1.9.1 APON	21
1.9.2 BPON	21

1.9.3 EPON	22
1.9.4 GPON	22
1.9.4.1 Arquitectura de red GPON.	23
1.9.4.2 Ventajas redes GPON.....	24
1.9.4.3 Métodos de acceso al medio y protocolos utilizados en redes GPON.....	24
1.9.5 GEPON.....	26
1.10 GPON en comparación con enlaces inalámbricos	
MDBA.....	26
1.10.1 Sistemas de modulación digital de banda ancha MDBA	27
1.10.2 GPON vs enlaces inalámbricos.....	29
1.11 Norma técnica despliegue de redes físicas.....	30
2. Diseño de la red de acceso FTTH, utilizando el estándar GPON.....	33
2.1 Situación actual de la red de PUNTONET S.A sucursal Ibarra.....	33
2.2 Diseño de la red GPON.	38
2.2.1 Dimensionamiento de la red.....	38
2.2.2 Tecnología y Arquitectura de la red.....	40
2.2.3 Topología de la red.....	41
2.2.4 Dimensionamiento Red Pasiva	42
2.2.4.1 Tendido fibra óptica.	42
2.2.4.1.1 Recomendación ITU-T G.652.....	43
2.2.4.1.2 Recomendación ITU-T G.657	44
2.2.4.2 Splitters	45
2.2.4.3 Conectores.....	46
2.2.4.4 Cajas de empalme	47
2.2.4.5 ODF.....	48
2.2.4.6 Elementos de sujeción de cables.....	48
2.2.5 Dimensionamiento Infraestructura Activa	49

2.2.5.1 OLT	49
2.2.5.2 ONT	50
2.2.6 Diseño de la red FTTH	51
2.2.6.1 Ubicación de la OLT	51
2.2.6.2 Selección de rutas	52
2.2.6.3 Codificación cajas de empalme	53
2.2.6.4 Diseño Red troncal	53
2.2.6.5 Diseño Red de distribución	55
2.2.6.6 Diseño Red de Acceso	58
2.2.6.6.1 Acometidas abonados	59
2.2.7 Cálculos del enlace	64
2.2.7.1 Presupuesto de potencia óptica	66
2.2.8 Balance de potencia equipo seleccionado.....	69
2.2.9 Capacidad de la red	71
3. Análisis Económico.....	72
3.1 Presupuesto de gastos	72
3.1.1 Costos implementación y equipos	73
3.1.2 Gastos administrativos	74
3.1.3 Gastos de ventas.....	74
3.1.4 Costos arrendamiento postes.....	75
3.1.5 Costos por migración de clientes.....	75
3.1.6 Costos de operación.....	76
3.2 Indicadores de evaluación económica	77
3.2.1 TMAR	77
3.2.2 VAN	78
3.2.3 TIR.....	79
3.3 Cálculo VAN y TIR	80
3.4 Periodo de recuperación de la inversión	81
4. Conclusiones y Recomendaciones.....	84
4.1 Conclusiones.....	84
4.2 Recomendaciones	87

REFERENCIAS	89
ANEXOS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura fibra óptica	2
Figura 2. Apertura Numérica	3
Figura 3. Principio Transmisión fibra óptica	4
Figura 4. Fibra multimodo de índice escalonado.....	7
Figura 5. Fibra multimodo de índice gradual	8
Figura 6. Fibra monomodo	8
Figura 7. Conector ST	11
Figura 8. Conector SC.....	11
Figura 9. Conector LC	12
Figura 10. Sistema de comunicación óptica.....	13
Figura 11. Ventanas de transmisión fibra óptica	14
Figura 12. Arquitecturas FTTx.....	17
Figura 13. Estructura red PON	18
Figura 14. <i>Optical Line Terminal</i>	19
Figura 15. Proceso de operación TDM.....	21
Figura 16. Sucursal Ibarra PUNTONET S.A.....	34
Figura 17. Arquitectura Red Inalámbrica.....	35
Figura 18. Localización Geográfica Nodos Wifi – Red Troncal F.O	36
Figura 19. Zonas de Cobertura red FTTH	39
Figura 20. Geo-referenciación abonados wifi sucursal Ibarra	41
Figura 21. Topología tipo árbol.....	42
Figura 22. Caja Empalme Tyco Fosc 350	47
Figura 23. Calix E7-2 Sistema de acceso modular.....	50
Figura 24. Tarjeta GPON-8	50
Figura 25. ONT Serie T071G	51
Figura 26. Área Cobertura OLT.....	52
Figura 27. Tramo red troncal a instalar.	54
Figura 28. Red Troncal - Mangas Troncales.	55
Figura 29. Red distribución mangas troncales mangas distribución Zona 1	57
Figura 30. Área efectiva de cobertura mangas de distribución.....	57

Figura 31. Infraestructura acceso abonados	58
Figura 32. Área cobertura mangas distribución zona 1 – ubicación abonados.....	61
Figura 33. Red de acceso zona 1 M IBR 0002.....	62
Figura 34. Red de acceso zona 1 M IBR 0003.....	62
Figura 35. Red de acceso zona 1 M IBR 0004.....	63
Figura 36. Red de acceso zona 1 M IBR 0005.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventanas transmisión fibra óptica	14
Tabla 2. Comparación principales estándares PON.....	26
Tabla 3. Características generales estándares IEEE 802.11n, IEEE 802.11 ac	28
Tabla 4. Comparación GPON con enlaces MDBA	29
Tabla 5. Número de abonados aproximado por nodo wifi de acceso.....	37
Tabla 6. Ancho de banda aproximado configurado por nodo wifi de acceso ...	37
Tabla 7. Características G.652.D	44
Tabla 8. Características G.657.A	45
Tabla 9. Pérdidas por inserción de <i>splitters</i>	46
Tabla 10. Resumen cantidad fibra óptica, <i>splitters</i> , cajas de empalme.....	58
Tabla 11. Numero abonados por manga de distribución zona 1	61
Tabla 12. Cálculo del presupuesto óptico canal <i>upstream</i> escenario 1.....	67
Tabla 13. Cálculo del presupuesto óptico canal <i>downstream</i> escenario 1	67
Tabla 14. Cálculo del presupuesto óptico canal <i>upstream</i> escenario 2.....	68
Tabla 15. Cálculo del presupuesto óptico canal <i>downstream</i> escenario 2	68
Tabla 16. Niveles de potencia Óptica ITU-T G.984.2	69
Tabla 17. Costos de materiales y equipos	73
Tabla 18. Tiempo estimado de instalación red troncal y distribución FTTH	74
Tabla 19. Gastos mano de obra y movilización.....	74
Tabla 20. Gastos ventas	75
Tabla 21. Valor por arrendamiento de postes	75
Tabla 22. Costos por migración de usuarios	76
Tabla 23. Costos inversión inicial.....	77
Tabla 24. Cálculo VAN TIR	81
Tabla 25. Flujo efectivo por años	82
Tabla 26. Periodo de recuperación de la inversión	83

1. Fundamentos Teóricos

1.1 Fibra Óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión que permite a las señales de comunicación viajar en forma de luz desde un punto A hacia un punto B, guiadas a través de delgadas fibras compuestas por vidrio o plástico. Las señales transmitidas sean de tipo análogo o digital, pueden representar información de voz, datos, video. Su principal ventaja radica en que pueden transportar gran cantidad de información a grandes distancias y en menor tiempo, a diferencia de otros medios de comunicación como cables de cobre o sistemas inalámbricos. Además, es inmune a radiaciones por interferencias electromagnéticas lo cual permite transmitir la información con menos ruido y menos errores. (Hayes, s.f.)

Por protección mecánica la fibra óptica se encuentra alojada dentro de cables, existe una variedad de tipos de cables destinados para aplicaciones: interiores, exteriores, subterráneas, etc. Estos cables pueden contener a cientos de fibras y protegerlas de condiciones ambientales adversas y de la tensión a la que se ven expuestas durante procesos de instalación. (The Fiber Optic Association, Inc, s.f.)

1.1.1 Composición de la Fibra Óptica.

La fibra óptica, son finos hilos compuestos de vidrio o plástico por los cuales viajan las señales de luz. Su estructura se encuentra comprendida por: núcleo y revestimiento.

- **Núcleo:** Hace referencia al centro de la fibra óptica constituyéndose el lugar por donde viaja la luz.
- **Revestimiento:** Es una capa que rodea al núcleo de la fibra, la misma que provoca un cambio de dirección del haz de luz transmitido, re

direccionándolo nuevamente hacia el núcleo de la fibra, debido a que posee un índice de refracción diferente al núcleo, permitiendo la transmisión de los haces de luz.

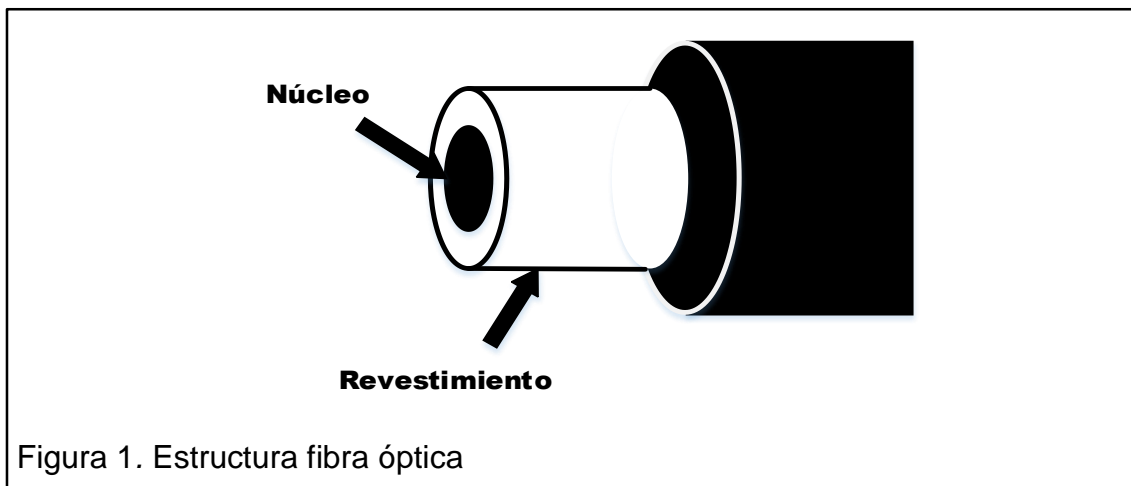


Figura 1. Estructura fibra óptica

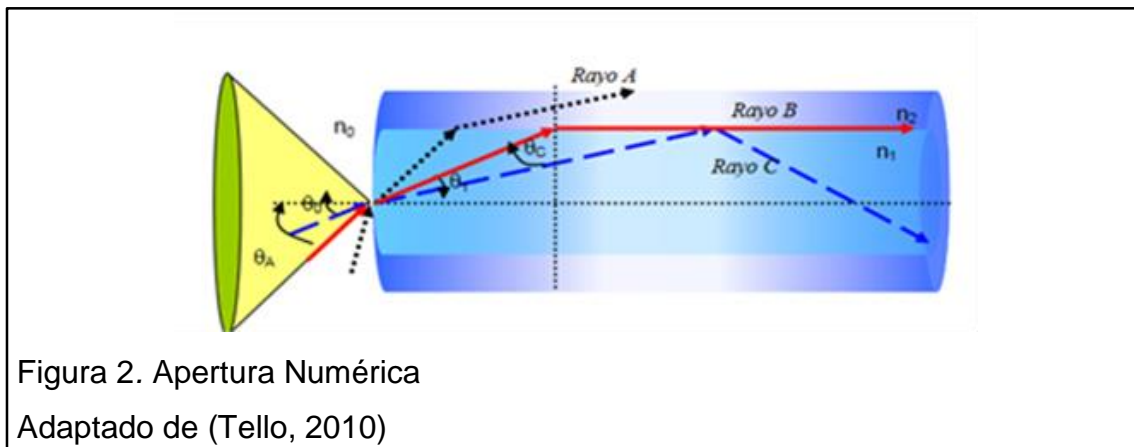
1.1.2 Características de la fibra óptica

Las características más importantes de la fibra óptica se indican a continuación:

- **Capacidad de transmisión:** la fibra óptica posee una mayor capacidad para la transmisión de información en comparación otros medios de comunicación como por ejemplo cables de cobre o coaxiales.
- **Atenuación:** La fibra óptica posee una baja atenuación, lo que permite alcanzar grandes distancias. La atenuación se refiere a la pérdida de potencia de la señal transmitida debida a factores de absorción y el *scattering*. (Hayes, s.f.)
- **Seguridad:** A través de la fibra óptica los datos transmitidos son inmunes a interferencias de terceros, ya que una señal transmitida no puede ser interceptada sin la necesidad de “cortar” la fibra, garantizando la integridad de la información transmitida.

1.1.3 Principio de Transmisión

Cuando un rayo de luz se inserta en el núcleo de la fibra forma un ángulo θ_A con relación a la normal de la superficie de la fibra. El ángulo máximo de aceptación en la fibra está definido por la apertura numérica, la misma que representará la cantidad de luz que será aceptada por el hilo de fibra. (Córdova, 2003)



La apertura numérica matemáticamente se muestra representada en la siguiente ecuación:

$$AN = \sin(\theta_A) = n_1 \cos(\theta_c) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Si el ángulo θ_A que ingresa a la fibra, es el máximo ángulo de aceptación, n_1 será el índice de refracción del núcleo, y a su vez n_2 se determinará como el índice de refracción del revestimiento.

Considerando lo especificado en el párrafo anterior, se define que el principio que atrapa la luz dentro de la fibra óptica, está basado en el principio de reflexión interna total, en la interface entre dos medios dieléctricos, teniendo en consideración que el índice de refracción del núcleo en la fibra óptica es mayor al índice de refracción del revestimiento. (Powers J., 1996, pp. 11-12)

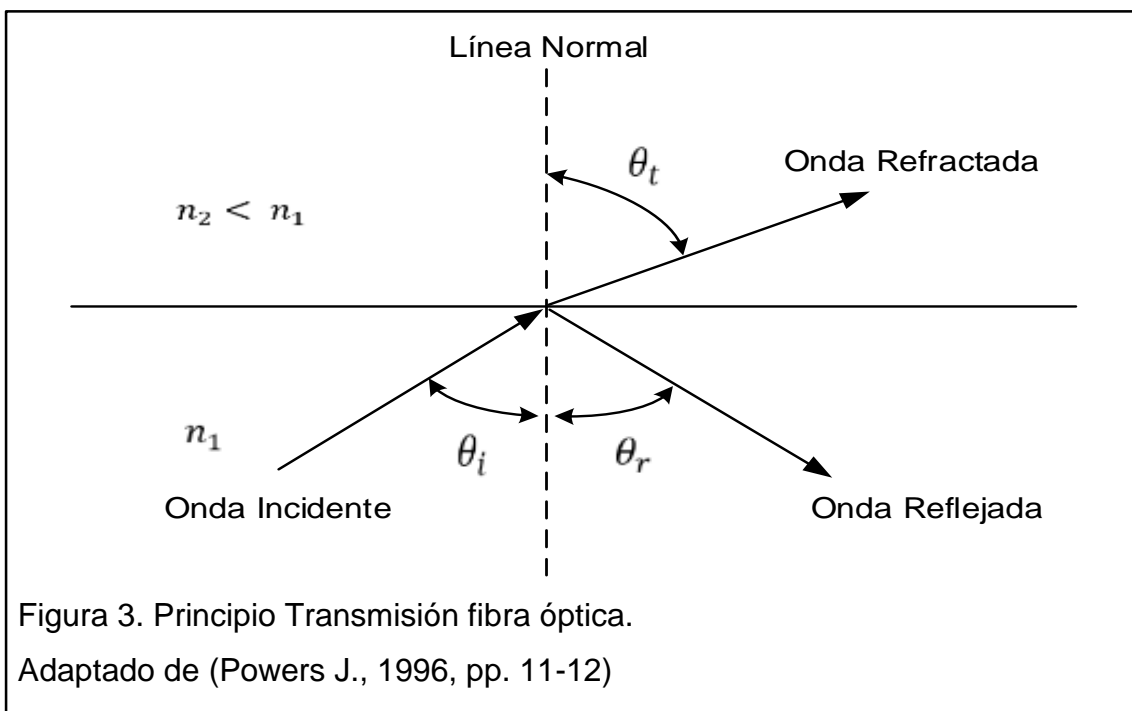
El índice de refracción n de un medio, se determina a través de la siguiente relación.

$$n = \frac{c}{v}$$

Donde c es la velocidad de la luz en el vacío 3×10^8 [m / seg], mientras tanto que v es la velocidad de la luz en el medio. Para que se produzca el principio de reflexión interna total, es necesario que el índice de refracción del medio que contiene la onda incidente (núcleo) n_1 , sea mayor que el índice de refracción del otro medio (revestimiento) n_2 . De esta forma la propagación de un haz de luz a través de la fibra matemáticamente se determinará a través de la ley de Snell. (Powers J., 1996, pp. 11-12)

$$n_1 \sin(\theta_i) = n_2 \sin(\theta_t)$$

Donde θ_i se refiere al ángulo de incidencia, y θ_t es el ángulo de transmisión.



θ_t puede alcanzar los 90° cuando θ_i tenga el valor de:

$$\theta_i = \theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

A θ_c se lo denomina el ángulo crítico de incidencia y está determinado por la diferencia que existe en la composición de los materiales usados en el núcleo y en el revestimiento. En ángulos de incidencia que sean iguales o que excedan el ángulo crítico, la energía de la onda incidente será totalmente reflejada dentro del núcleo. (Powers J., 1996, pp. 11-12)

Refracción

Se puede definir a la refracción como el cambio de dirección que experimenta el rayo de luz al atravesar una interfaz entre dos medios con índices de refracción diferentes. Como se explicó anteriormente n_1 comprende el índice de refracción del núcleo y n_2 el índice de refracción del revestimiento, bajo esta premisa si $n_2 > n_1$, el rayo de luz que incide en el medio será refractado y por ende no se re direccionara al núcleo de la fibra.

Reflexión

Se produce cuando el índice de refracción del núcleo n_1 es mayor que el índice de refracción del revestimiento n_2 , provocando un cambio drástico, en la dirección en la que viaja el rayo de luz, a causa de aquello el rayo se refleja en su totalidad y permanece dentro del núcleo de la fibra óptica.

1.1.4 Ventajas y Desventajas en el uso de la fibra óptica

1.1.4.1 Ventajas

Las principales ventajas que ofrece la fibra óptica son:

- **Mayor ancho de banda:** permite transmitir una mayor cantidad de información respecto a otros medios de comunicación físicos o inalámbricos.
- **Inmunidad a interferencias electromagnéticas:** Por su estructura la fibra óptica está exenta de interferencias electromagnéticas, permitiendo su utilización en campos con alta densidad electromagnética.

- **Transmisión a grandes distancias:** La fibra óptica permite transmitir información a mayores distancias en comparación al cable de cobre, debido a que presenta baja pérdida de potencia.
- **Bajo peso y tamaño moderado:** por su estructura la fibra óptica es mucho más ligera en peso y tamaño, en comparación a otros medios de transmisión físicos como por ejemplo el cable coaxial.

1.1.4.2 Desventajas

Las desventajas más comunes que presenta la fibra óptica son las siguientes:

- **Fragilidad:** las fibras deben ser manipuladas de forma muy delicada para evitar rupturas en sus hilos.
- **Empalmes:** Los empalmes que se deben realizar entre hilos de fibra poseen un alto grado de complejidad en relación a los cables de cobre.
- **Costo implantación:** Los costos de implementación son mucho más elevados que los de una red de cobre.

1.2 Tipos de fibra óptica

Se puede clasificar a la fibra óptica en dos grandes grupos:

- Fibra óptica monomodo.
- Fibra óptica multimodo.

A continuación, se describen las características principales de este tipo de fibras.

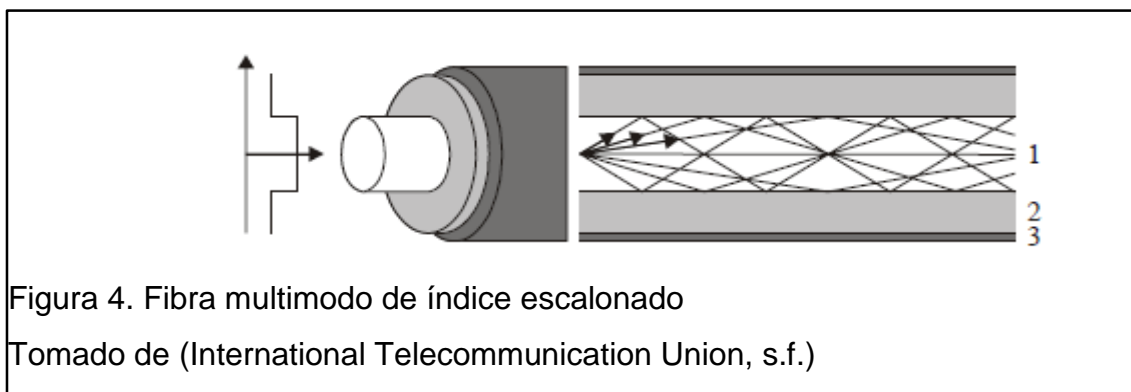
1.2.1 Fibra óptica multimodo

La fibra óptica multimodo es un tipo de fibra en la cual los haces de luz se propagan de varias formas o modos, por medio del núcleo de la fibra. Es decir,

el haz de luz ingresa y abandona la fibra formando varios ángulos. El mayor ángulo de luz que es aceptado dentro del núcleo de la fibra define la apertura numérica. Este tipo de fibras se usan generalmente en aplicaciones que requieren cubrir distancias relativamente cortas, contando con un núcleo aproximado de 50 [um].

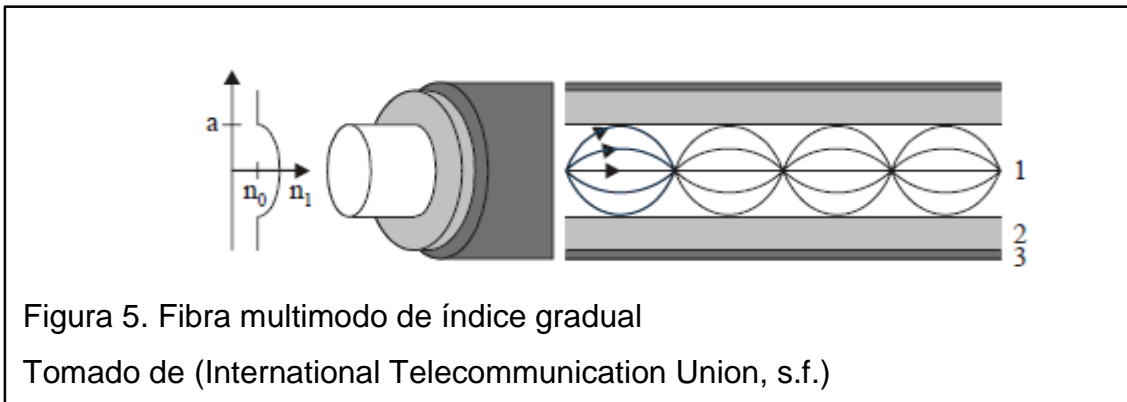
Las fibras multimodo se clasifican en dos grupos y se las distingue, de acuerdo al índice de refracción de sus núcleos y por como la luz viaja a través de ellos, las mismas que son: (Hayes, s.f.)

- **Fibra de índice escalonado:** El índice de refracción en este tipo de fibras, cambia drásticamente desde el revestimiento hacia núcleo, produciendo que todos los rayos de luz transmitidos que posean un cierto ángulo se reflejen hacia el núcleo. Como resultado de viajar en varias formas o modos, los pulsos de luz arriban al final de la fibra en distintos instantes de tiempo, limitando la tasa de bits a ser transmitidos en una señal. (International Telecommunication Union, s.f.)



- **Fibra de índice gradual:** Con una fibra multimodo de índice escalonado los haces de luz llegan al final de la fibra en diferentes instantes de tiempo. La fibra de índice graduado permite casi igualar el modo de propagación de estos haces de luz, ya que el núcleo de la fibra se encuentra compuesto por varias capas de vidrio, las cuales generan índices de refracción que cambian desde el centro del núcleo hacia afuera de forma similar a una parábola, permitiendo que los rayos de luz

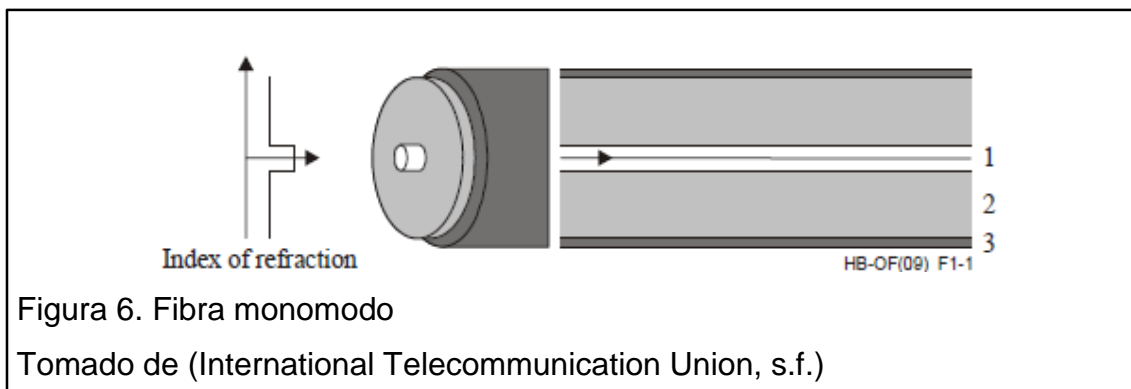
que viajan por el núcleo sean casi iguales a pesar de viajar en distintos modos. (International Telecommunication Union, s.f.)



1.2.2 Fibra óptica monomodo

En este tipo de fibra se propaga un solo modo de luz, posee un núcleo de fibra reducido aproximadamente de 8 a 10 [μm], con una diferencia entre el índice de refracción del núcleo y el índice de refracción del revestimiento, causando que la luz viaje en un solo modo. (Hayes, s.f.)

Los valores de atenuación en este tipo de fibra son menores en comparación a las fibras multimodo, permitiendo transmitir más información en menos tiempo, siendo generalmente usadas para cubrir grandes distancias geográficas.



1.3 Dispersión en la fibra óptica

La dispersión es un efecto que se genera cuando el pulso de luz que se propaga a través de la fibra se deforma (ensancha) en el dominio del tiempo, limitando la capacidad de transmisión de información a través de la fibra. (Powers J., 1996, p. 44)

Existen dos tipos de dispersiones que afectan las señales de luz cuando se propagan a través de la fibra óptica, los cuales son:

1.3.1 Dispersión modal

La dispersión modal se presenta en fibras multimodo tanto en las de índice escalonado como en las de índice gradual. En la primera se presenta, debido a que los diferentes caminos que toman los diferentes modos de propagación poseen diferentes longitudes. En la segunda ocurre cuando el perfil del índice no es perfecto, teóricamente con una fibra de índice graduado no debería existir dispersión modal, debido a que todos los modos viajarían a una misma velocidad a través de la fibra, pero en realidad esto no sucede debido a que no todos los modos son perfectamente transmitidos, ocasionando dispersión modal. (Hayes, s.f.)

1.3.2 Dispersión cromática

La dispersión cromática es el resultado de la dispersión material y la dispersión por guía de onda.

- **Dispersión material:** El índice de refracción del núcleo de una fibra óptica depende de la longitud de onda de la luz que se propaga en ella. Este fenómeno se conoce como dispersión material y hace que los pulsos aumenten su duración temporal a medida que se propagan en la fibra.

- **Dispersión por guía de onda:** la dispersión por guía de onda depende de las propiedades de dispersión que posea la propia guía de onda, es decir si la longitud de onda varia se producirá esta dispersión. (International Telecommunication Union, s.f.)

1.4 Conectores

Desde que la fibra óptica empezó a utilizarse se han desarrollado una gran variedad de conectores con el objetivo de ofrecer un mejor desempeño en relación a pérdidas introducidas por el uso de estos dispositivos, sin olvidar también el factor económico que incluye la adquisición de los mismos. La norma TIA 568 en su origen mencionaba que los conectores tipo SC eran el estándar, pero con el paso del tiempo nuevos conectores se introdujeron, hasta que la norma TIA 568B estableció que se acepta el uso de cualquier tipo de conector que este bajo el respaldo de la FOCIS *Fiber Optic Connector Intermateability Standards*. (The Fiber Optic Association, s.f.)

Los conectores proporcionan un método para unir los extremos de dos fibras ópticas de forma no permanentemente, los mismos son utilizados en puntos de la red donde se necesita realizar pruebas y tener flexibilidad para configuraciones en términos de red. (International Telecommunication Union, s.f.)

A continuación, se indica 3 tipos de conectores que son generalmente más utilizados:

Conector ST: utilizados en fibras de tipo multimodo y monomodo, de marca registrada por AT&T. Posee una montura en forma de bayoneta y una férula cilíndrica por donde se sostiene la fibra. (The Fiber Optic Association, s.f.)



Figura 7. Conector ST

Modificado de (Hayes, s.f.)

Conector SC: son fáciles de instalar y son de bajo costo, es un conector que posee un mecanismo de presionar - estirar para conectar o desconectar el mismo. (The Fiber Optic Association, s.f.)



Figura 8. Conector SC

Modificado de (Hayes, s.f.)

Conector LC: Es un conector estándar relativamente nuevo, que posee una férula de cerámica de 1.25 [mm], utilizado en sistemas monomodo y multimodo gracias a su buen desempeño. Su presentación está dada generalmente en formato dúplex. Este tipo de conectores se los usa en redes de datos de alta velocidad superiores a 1 [Gbps]. (The Fiber Optic Association, s.f.)

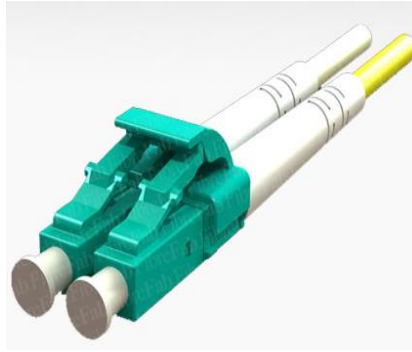


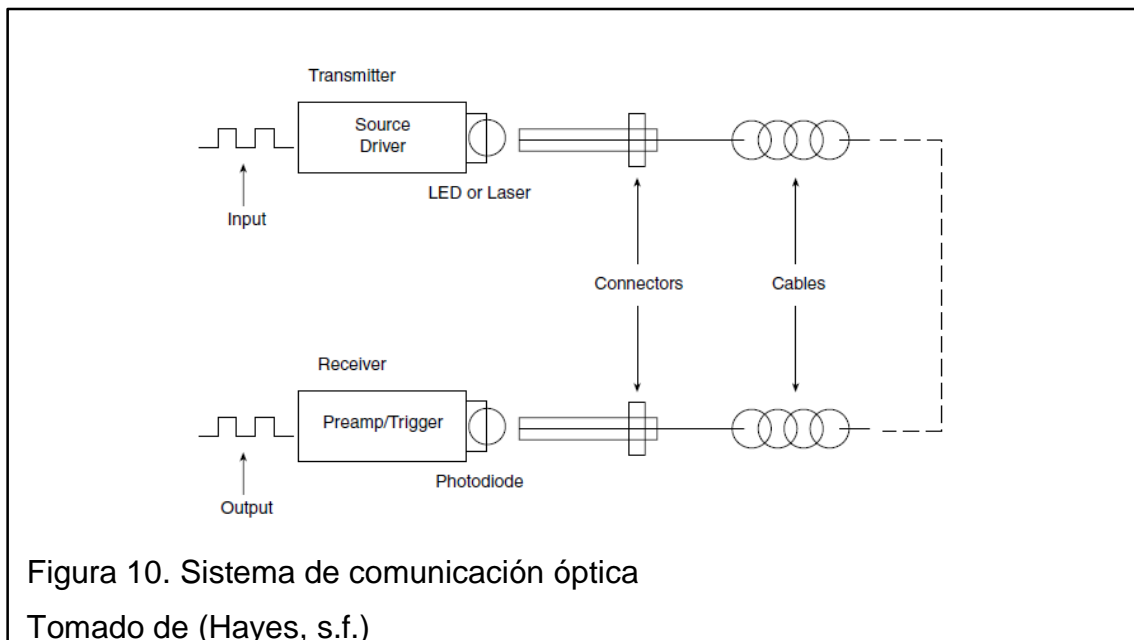
Figura 9. Conector LC

Modificado de (FibreFab, s.f.)

1.5 Funcionamiento sistema de comunicación óptica.

Un sistema de comunicación de fibra óptica está constituido por tres elementos: un transmisor, un canal de transmisión, y un receptor, mediante los cuales viajan pulsos de luz. El transmisor incluye la señal de entrada sea analógica o digital, un circuito modulador, una fuente óptica que puede ser un láser o LED, y un conector u otro dispositivo que sirva para conectar la fibra. La fuente de luz recibe una señal desde el codificador electrónico para convertir la información eléctrica en óptica y adaptarla al canal de transmisión.

A través del canal de transmisión (fibra óptica) se propagan los haces de luz hasta alcanzar al receptor. En el receptor el fotodetector o detector de luz convierte la luz que ingresa en señal eléctrica, para luego amplificarla, y con la ayuda de un demodulador aislar los pulsos eléctricos, para luego decodificar los bits recibidos y recuperar la señal original. Es importante mencionar que para trayectos que abarquen grandes distancias se requiere el uso de repetidores para regenerar la señal. (Hayes, s.f.)

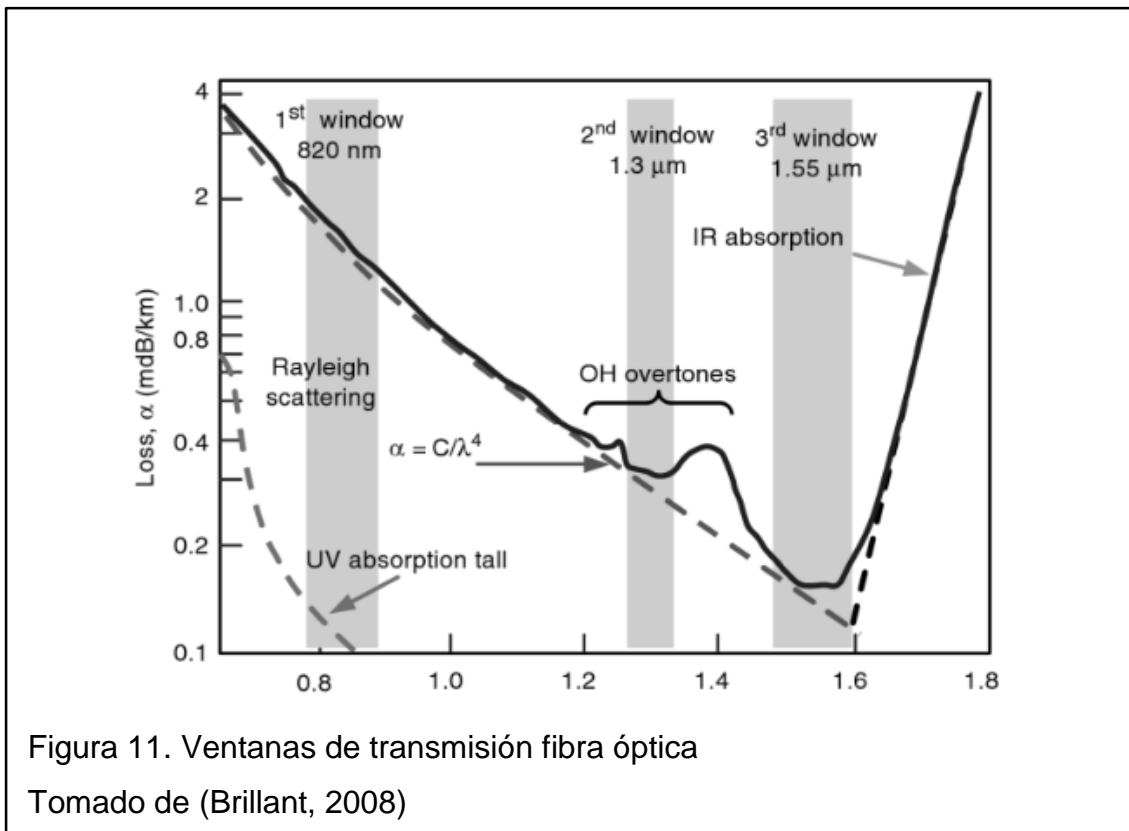


1.6 Ventanas de transmisión

La transmisión de los haces de luz a través de la fibra óptica se realiza con el uso de diferentes longitudes de onda, comprendidas en un rango entre 750 y 1650 [nm] del espectro, las mismas que no son visibles al ojo humano. (Santacruz, 2002)

Para la transmisión de la señal óptica se utilizan tres ventanas de trabajo:

- Primera ventana de transmisión 850 [nm].
- Segunda ventana de transmisión 1310 [nm].
- Tercera ventana de transmisión 1550 [nm].



Los primeros sistemas de comunicación por fibra óptica operaban en la primera ventana de transmisión 850 [nm] debido a la disponibilidad de fuentes luminosas en esa época. La atenuación que se produce en el uso de esta ventana varía entre 2 y 5 [dB/Km]. En la actualidad las fuentes y detectores de luz utilizados permiten operar en la segunda y tercera ventana de transmisión entre 1310 [nm] y 1550 [nm] respectivamente. La atenuación que se produce por trabajar dentro de estas ventanas son de 0.5 [dB/Km] y 0.2 [dB/Km]. (España, 2005)

Tabla 1. Ventanas transmisión fibra óptica.

VENTANAS	LONGITUD ONDA CENTRAL	ATENUACIÓN [dB/Km]	ALCANCE [Km]	COSTO
800 - 900 [nm]	850 [nm]	2 – 5	2	Bajo
1250 - 1350 [nm]	1310 [nm]	0,5	40	Medio
1500 - 1600 [nm]	1550 [nm]	0,2	160	Elevado

1.7 Redes de acceso de fibra óptica

Hasta hace algunos años atrás la fibra óptica era considerada como una solución exclusiva para interconectar redes localizadas a grandes distancias geográficas debido a su gran capacidad de transmisión, pero con la demanda actual de contenidos multimedia existentes, las redes de acceso a través de fibra óptica se convierten en soluciones viables para poder llegar hacia las inmediaciones de los usuarios finales y satisfacer las necesidades de ancho de banda que requieren.

1.7.1 FTTx

FTTx (*Fiber to the x*) es un término genérico usado para definir las distintas arquitecturas que pueden ser desplegadas en una red óptica pasiva: FTTN, FTTB, FTTH, FTTC. Se las puede diferenciar por la última letra de la palabra, la misma que determina los distintos destinos a donde puede llegar la fibra óptica: Nodos, Edificios, Hogares, Acera. En base al punto de terminación o el lugar final donde llega la fibra óptica se le otorga a la red un nombre específico. Es por esto que se usa FTTx para abarcar todos los escenarios posibles, empleados en el despliegue de una red óptica pasiva. (Keiser, 2006)

A través de FTTx, las redes ópticas pasivas PON (*Passive Optical Network*) de banda ancha permiten brindar un servicio de telecomunicaciones a varios usuarios a través de un mismo medio físico sin la necesidad de utilizar elementos activos para la interconexión de enlaces.

1.7.2 Arquitecturas FTTx

Las diferentes posibilidades de despliegue de la fibra óptica varían en base a la distancia que se tenga hacia el usuario final, conforme lo indicado las arquitecturas que más se destacan son:

- **FTTN (*Fiber to the Node*)**

Fibra hacia el nodo, es una arquitectura de red donde la fibra óptica termina en un Nodo, a una distancia de alrededor de 1 [Km] con relación a la ubicación de los abonados. (Keiser, 2006)

El último tramo que comprenda hacia el usuario final, puede estar constituido de fibra óptica, cable coaxial o par trenzado de cobre.

- **FTTB (*Fiber to the Building*)**

Fibra hacia el edificio, es una arquitectura de red, que hace referencia al despliegue de un cable de fibra óptica desde una oficina central directamente hacia dentro de un edificio. (Keiser, 2006)

Desde este punto, se realiza la distribución de los servicios hacia los abonados, a través de una red interna que no necesariamente es de fibra óptica.

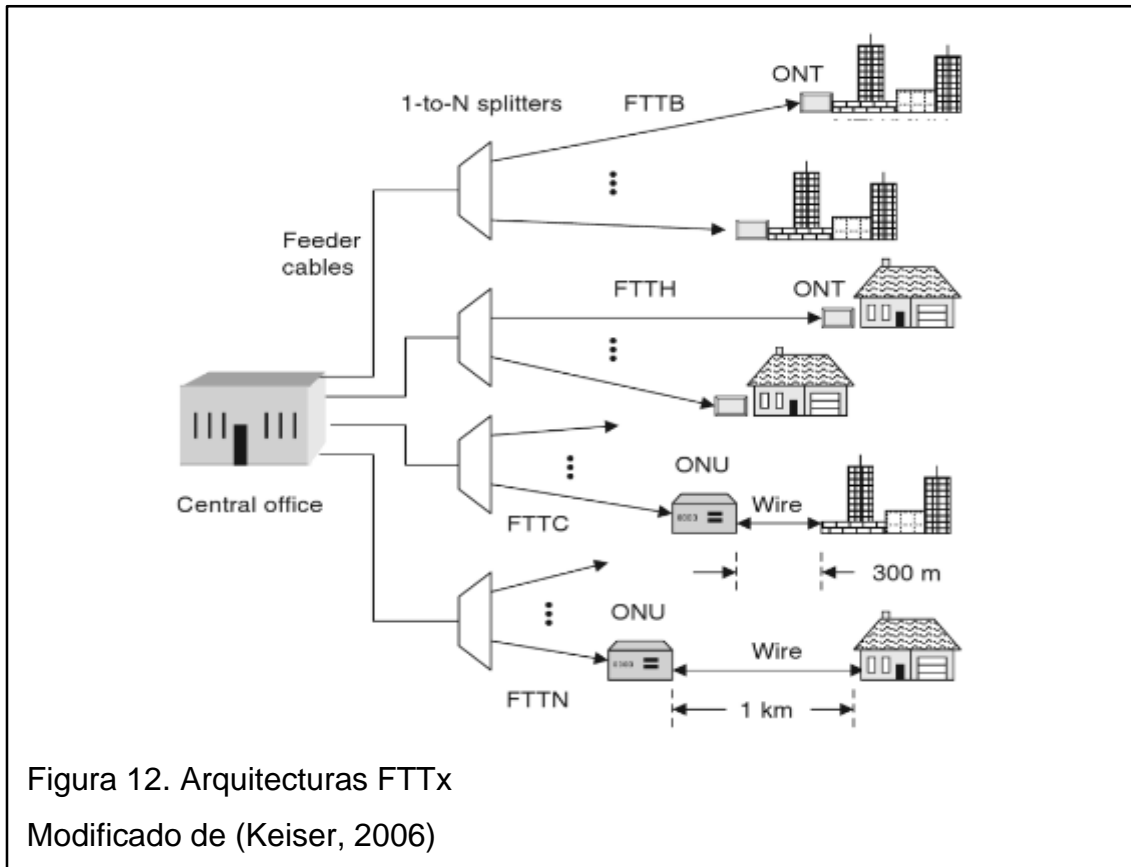
- **FTTH (*Fiber to the Home*)**

Fibra hasta el hogar, es una arquitectura de red, que hace referencia al despliegue del cable de fibra óptica desde una oficina central directamente hacia el hogar del abonado. (Keiser, 2006)

Con el uso de esta tecnología se puede otorgar a los abonados una mayor capacidad de ancho de banda en sus enlaces a diferencia de otros medios de transmisión cableados.

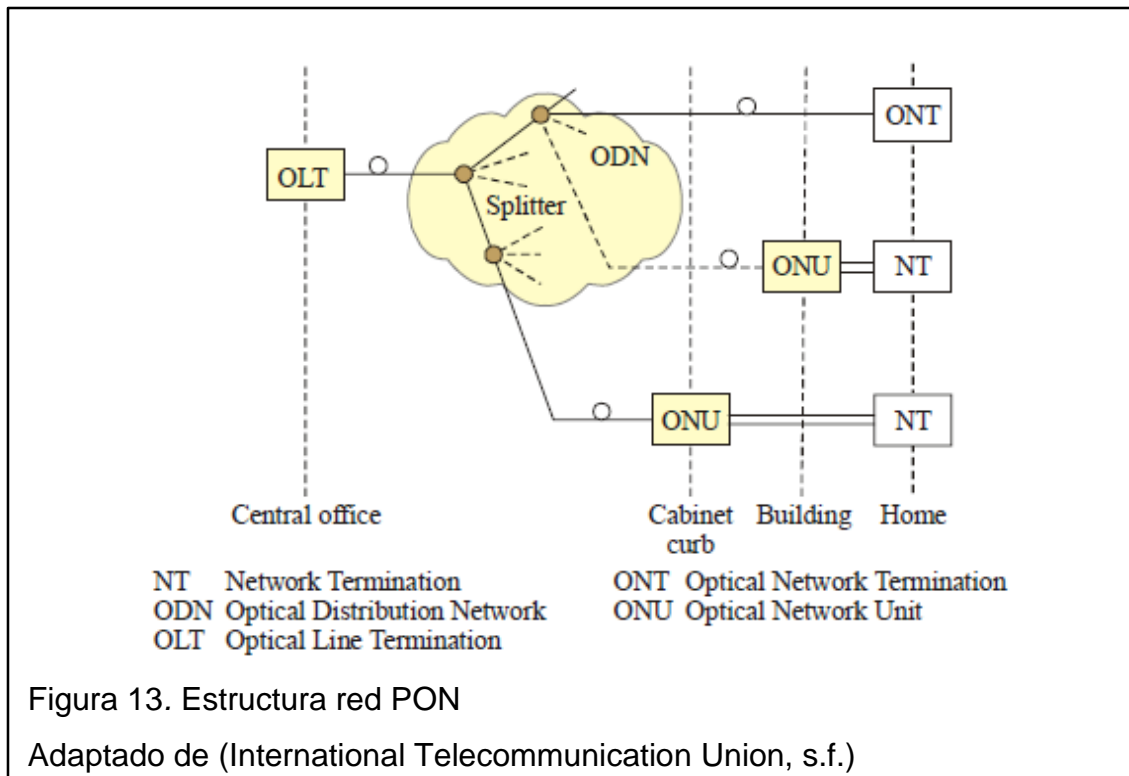
- **FTTC (*Fiber to the curve*)**

A este tipo de arquitectura de red se la conoce como fibra hasta la acera, la fibra óptica llega hasta una plataforma ubicada generalmente a 300 [m] con relación a la localización de los abonados. Para conectar los abonados se puede hacer uso de cable coaxial, par trenzado de cobre u otro medio de transmisión. (Keiser, 2006)



1.8 REDES PON

Una red PON (*Passive Optical Network*) permite a los usuarios contar con un mayor ancho de banda y mejores servicios, al contar con accesos a servicios de voz, video, y datos a través de fibra óptica. Son redes que se caracterizan por no utilizar componentes activos entre un punto inicial y un punto final, excepto en los lugares donde se sitúa la OLT (central) y los ONT's (abonados), introduciendo en lugar de equipos activos divisores ópticos pasivos (*splitters*) para encaminar el tráfico de la red. La OLT y los ONT's están conectados a través de una red de distribución óptica (ODN), en la cual se colocan uno o más divisores ópticos pasivos (*splitters*), formado en la mayoría de casos una topología punto multipunto. Es importante indicar que este tipo de redes logran cubrir una distancia hasta 20 [Km] desde la estación central hacia el abonado sin la utilización de equipamiento activo. (International Telecommunication Union, s.f.)



Otro punto a considerar es el hecho de no utilizar equipos activos en el despliegue de la red, lo cual reduce considerablemente el costo de implementación de la misma.

1.8.1 Estructura de una red PON

Una red PON básicamente está constituida por los siguientes elementos:

- OLT (*Optical Line Terminal*)
- ONT (*Optical Network Terminal*)
- *Splitters* (divisores ópticos)

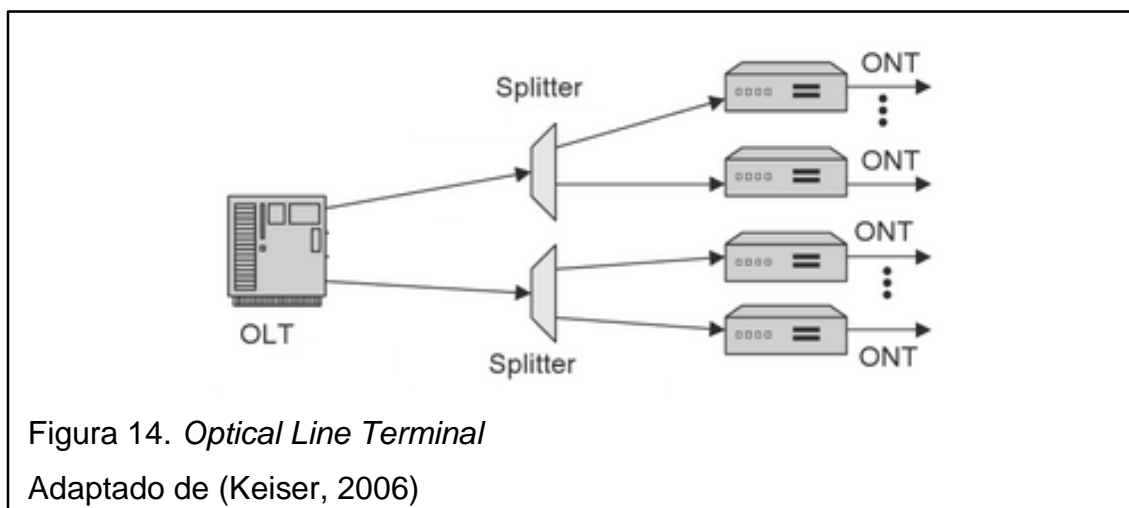
1.8.1.1 OLT *Optical Line Terminal*

La OLT es el equipo principal en una arquitectura de red óptica, el mismo que se encuentra localizado en la oficina central del operador de servicios.

Por el canal *downstream* la OLT se encarga de realizar el envío del tráfico de voz, datos y video proveniente de otras redes, hacia todas las ONT's que se encuentren asociadas al mismo. En sentido *upstream* la OLT recibe y distribuye el tráfico de voz y datos provenientes de la red de los abonados.

Para la transmisión simultánea de diferentes tipos de tráfico a través de una misma fibra óptica, se utilizan diferentes longitudes de onda en cada sentido. De esta forma la transmisión en sentido *downstream*, en una red óptica pasiva se utiliza una longitud de onda de 1490 [nm] para el tráfico combinado de voz y datos, y una longitud de onda de 1550 [nm] para distribución de video, en cambio para la transmisión en sentido *upstream* para tráfico de voz y datos se utiliza una longitud de onda de 1310 [nm].

El equipo OLT está diseñado para tener la capacidad de controlar más de una red óptica pasiva, y debe cumplir con estándares específicos PON, para poder interactuar con las ONT's de diferentes fabricantes.



1.8.1.2 Divisores ópticos (*splitters*)

Son elementos divisores de potencia pasiva, que se utilizan para la distribución de redes ópticas entre la OLT y su respectiva ONT, el divisor óptico conectado a la red permite dividir la señal de entrada en varias señales de salida, como, por ejemplo: 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 o 1:64. Su localización depende de la

disponibilidad de hilos en la red óptica pasiva desplegada. (International Telecommunication Union, s.f.)

Los divisores de potencia no solo multiplexan y demultiplexan las señales que reciben, sino también son capaces de combinar potencia. Es decir, las señales recibidas del canal *downstream* por el puerto de entrada provenientes de la OLT se dividen en varias salidas, y las señales que se reciben del canal *upstream* por los puertos de salida, provenientes de la ONT se combinan en la entrada.

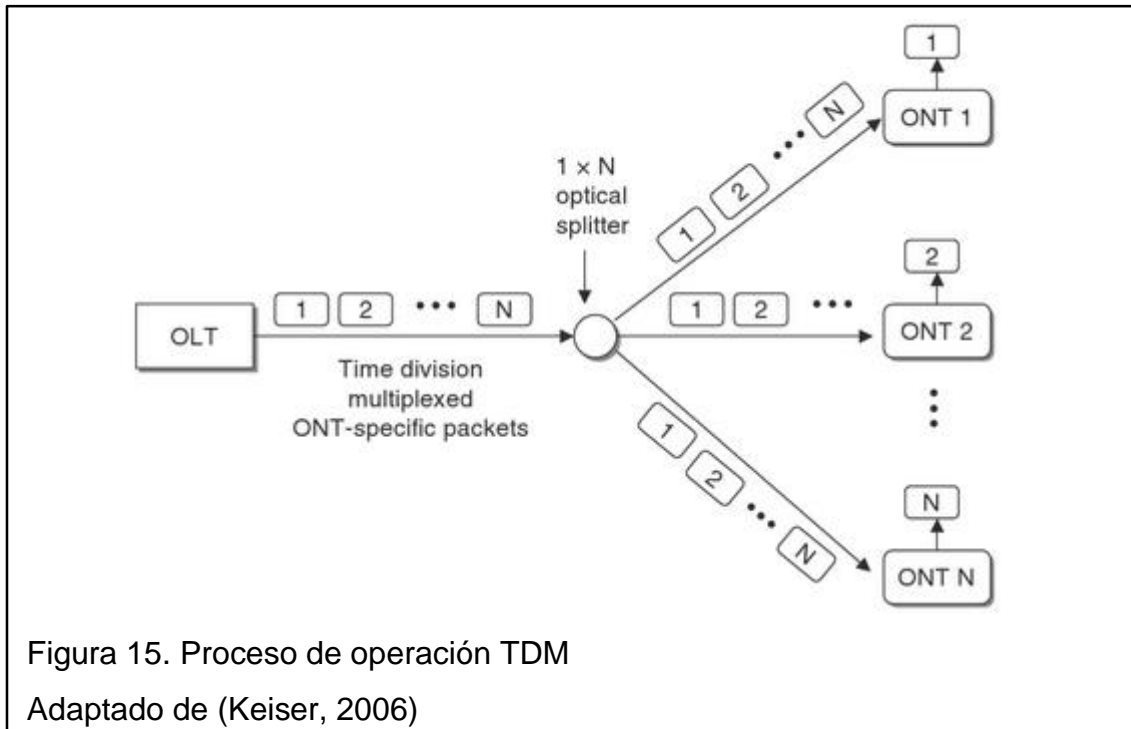
1.8.1.3 ONT *Optical Network Terminal*

El ONT es el equipo que se instala dentro de las inmediaciones de los abonados, constituyéndose en el punto delimitante, entre la red perteneciente al proveedor de servicios y la red de área local del abonado.

Su función radica en proporcionar una conexión óptica a la red óptica pasiva PON en sentido *upstream* y una interfaz eléctrica al equipo del abonado.

Un ONT tiene la capacidad de transportar diferentes tipos de tráfico en sentido *upstream* desde la red de los abonados hacia la OLT.

La transmisión realizada por la OLT es a través de *broadcast* TDM, y llega hacia cada ONT por igual, en ese instante el ONT realiza la función de filtrar la información que le corresponde o hacia la cual tiene acceso en un intervalo de tiempo determinado.



1.9 Estándares Redes PON

A continuación, se indica los principales estándares creados con el fin de complementar las redes PON.

1.9.1 APON

Redes ópticas pasivas ATM, esta definidas dentro del estándar ITU-T G.983, siendo el primer estándar desarrollada para redes PON. Sus especificaciones iniciales fueron definidas por el comité FSAN (*Full Service Access Network*), el cual usa el estándar ATM como protocolo de señalización de capa Enlace de datos del modelo OSI. APON se adecua a diferentes arquitecturas de redes de acceso como: FTTN, FTTB, FTTH, FTTC. (Millan, 2008)

1.9.2 BPON

Red óptica pasiva de banda ancha, surgió como una mejora de las redes APON ofreciendo servicios como acceso a Ethernet o distribución de video, se

define en varias versiones del estándar ITU-T G.983.1 hasta el estándar G.983.8. La especificación G.983.1 define las velocidades de transmisión nominales en 155,52 [Mbps], 622,08 [Mbps], 1244,16 [Mbps] en sentido *downstream* y 155,52 [Mbps] y 622,08 [Mbps] en sentido *upstream*. (Union Internacional de Telecomunicaciones, s.f.)

1.9.3 EPON

Ethernet PON, este sistema se basa en el transporte de tráfico Ethernet en lugar del transporte de celdas por medio de ATM. EPON se adhiere a la norma IEEE 802.3 con velocidades de transmisión en [Gbps]. Importante es mencionar que este sistema ofrece QoS en el canal ascendente y descendente. (Guevara, 2010)

1.9.4 GPON

Las redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabit, se define en la recomendación emitida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-T G.984.1 hasta la ITU-T G.984.8. De forma general estas recomendaciones describen redes de acceso de fibra óptica con la capacidad de soportar grandes anchos de banda.

Los sistemas GPON están compuestos de forma general, por una OLT, una ONT acompañados de una red de distribución óptica pasiva que los interconecta. (International Telecommunication Union, s.f.)

Las velocidades de transmisión determinadas en la recomendación se encuentran identificadas de dos formas:

- 1,2 [Gbps] *upstream*, 2,4 [Gbps] *downstream*.
- 2,4 [Gbps] *upstream*, 2,4 [Gbps] *downstream*.

La tasa de transmisión más importante es la de 1,2 [Gbps] *upstream*, 2.4 [Gbps] *downstream*, constituyéndose en la más utilizada en este tipo de sistemas. El alcance físico que indica esta recomendación se encuentra especificado por la distancia que existe entre la OLT y la ONT y radica entre 10 y 20 [Km]. (International Telecommunication Union, s.f.)

1.9.4.1 Arquitectura de red GPON.

Como se indicó anteriormente una red GPON consta de una OLT que se encuentra en las instalaciones del proveedor de servicios, y una ONT que se ubican en las inmediaciones de los abonados asumiendo un escenario FTTH. La OLT consta de tarjetas con puertos PON que dependiendo de sus características pueden soportar hasta 64 ONT's por cada puerto. Para poder establecer conexión entre la OLT y la ONT se emplea un medio físico de transmisión como lo es la fibra óptica, con una longitud de onda en sentido *downstream*. A través del uso de divisores ópticos pasivos (*splitters*) se divide la señal de luz generada desde la OLT, y el tráfico *downstream* es distribuido hacia las ONT's. El tráfico en este sentido es generado en forma de *broadcast* hacia todos los abonados con una longitud de onda de 1490 [nm] y cada ONT estará encargada de procesar el tráfico al que se le permita tener acceso. Se puede emplear una serie de divisores ópticos pasivos (1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64) para llegar hacia los abonados, formando una topología punto multipunto. (Millan, 2008)

Los datos en sentido *upstream* enviados desde la ONT hacia la OLT son generados en una longitud de onda de 1310 [nm], distinta a la longitud de onda en sentido *downstream* evitando de esta forma interferencias en la transmisión. Los protocolos basados en TDMA (*Time Division Multiple Access*) aseguran que se cumpla con lo indicado transmitiendo los datos cuando sea necesario hacia la OLT con la ayuda de los divisores ópticos pasivos. (Millan, 2008)

1.9.4.2 Ventajas redes GPON

Las principales ventajas que ofrece una red GPON son las siguientes:

- **Ancho de banda:** Una red GPON nos ofrece anchos de banda superiores a otras tecnologías predecesoras con la capacidad de soportar tráfico de voz, datos y video sobre el mismo canal de comunicación.
- **Bajo Costo:** Al tratarse de una variante de PON, las redes del tipo GPON no utilizan equipamiento activo entre el punto de operación del proveedor de servicios y el lugar donde se sitúa el abonado, permitiendo reducir significativamente los costos de implementación para este tipo de redes. (Casademont, 2010)
- **Alcance:** Una red GPON logra una distancia de cobertura de hasta 20 [km] desde el OLT hacia el abonado, mejorando significativamente el alcance con relación a otras tecnologías de acceso como por ejemplo ADSL.

1.9.4.3 Métodos de acceso al medio y protocolos utilizados en redes GPON

Para la transmisión de la información en sentido *downstream* se usa la técnica TDM (*Time Division Multiplexing*) y para la transmisión en sentido *upstream* se usa TDMA (*Time Division Multiple Access*). Para el transporte de datos se emplean protocolos utilizados en estándares predecesores de GPON como son: ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) y GEM (*GPON Encapsulation Method*). A su vez para emplear de una manera eficaz el ancho de banda sobre el canal de comunicación, se emplea la técnica de asignación dinámica de ancho de banda (DBA).

- **TDM (*Time Division Multiplexing*)**

“La multiplexación por división de tiempo, es una técnica para compartir un canal de transmisión para varios usuarios, asignando a cada usuario, durante unas determinadas “ranuras de tiempo” la totalidad del ancho de banda disponible. Esto se logra organizando el mensaje de salida en unidades de información llamadas tramas y asignando intervalos de tiempo fijos dentro de la trama a cada canal de entrada”. (Hernández, 2005)

- **TDMA (*Time Division Multiple Access*)**

El acceso múltiple por división de tiempo permite a los usuarios acceder a un canal determinado en un intervalo de tiempo. En las redes ópticas pasivas GPON, la OLT toma el control del canal *upstream* otorgando ventanas de transmisión a las ONT. Por ser el *splitter* un elemento pasivo no puede controlar la transmisión de esta información, es por ello que debe existir una sincronización ideal de los paquetes ascendentes que lleguen al *splitter* y luego a la OLT.

- **DBA (*Dynamic Bandwith Allocation*).**

Se refiere a una técnica mediante multiplexación estadística, en la cual la OLT asigna posibilidades de transmitir en *upstream* a las ONT's de forma dinámica. Esta técnica permite mejorar la utilización del ancho de banda en una red PON debido a que se adapta a los patrones de tráfico de ráfagas que emite el ONT. (Tripp, 2009)

- **GEM (*GPON Encapsulation Method*)**

Este método se basa en la recomendación G.7041, GFP la cual indica las especificaciones para enviar paquetes IP sobre redes SDH. Permitiendo soportar cualquier tipo de servicio (Ethernet, TDM, ATM, etc.) sobre una red GPON. (Instituto Tecnológico de Teléfonos de México SC., s.f.)

1.9.5 GEPON

Gigabit Ethernet PON, es un sistema que combina la tecnología *Gigabit Ethernet* y *Passive Optical Network*. GEPON se adhiere a la norma IEEE 802.3ah. Su arquitectura es similar a la de un sistema GPON, con un alcance hasta 20 [Km].

Tabla 2. Comparación principales estándares PON

COMPARACIÓN PRINCIPALES ESTÁNDARES PON			
	BPON	EPON	GPON
CREADOR ESTÁNDAR	ITU-T	IEEE	ITU-T
TASA DE BITS [Mbps]	155.52, 622.08, 1244.16 <i>down</i> ; 622.08, 155.52 <i>up</i>	1250 <i>down</i> , 1250 <i>up</i>	2400 <i>down</i> ; 1200, 2400 <i>up</i>
RADIO MÁXIMO DE DIVISIÓN	1:32	1:32	1:128, (en la práctica 1:64)
ALCANCE [Km]	20	20	20
SOPORTE TDM	TDM sobre ATM	TDM sobre paquetes	TDM sobre GEM o TDM sobre ATM

Adaptado de (Millan, 2008)

1.10 GPON en comparación con enlaces inalámbricos MDBA.

En la actualidad los proveedores de servicio de telecomunicaciones ofrecen tecnologías de acceso a sus abonados por medio de enlaces físicos o inalámbricos.

Las redes inalámbricas han sido muy utilizadas como una solución de conectividad, y a través de esta tecnología la empresa PUNTONET S.A ofrece el servicio de internet en la actualidad a sus abonados en diferentes ciudades del País. Bajo esta premisa, la comparación que se realizará se encuentra

enfocada en redes inalámbricas con sistemas de modulación digital de banda ancha MDBA frente a redes GPON.

1.10.1 Sistemas de modulación digital de banda ancha MDBA

MDBA hace referencia a *“Sistemas de radiocomunicaciones que utilizan técnicas de modulación digital en una anchura de banda asignada con una densidad espectral de potencia baja compatible con la utilización eficaz del espectro; al permitir la coexistencia de múltiples sistemas en una misma anchura de banda.”* (ARCOTEL, s.f.)

Este tipo de sistemas usan técnicas robustas de espectro ensanchado y modulación digital, las cuales permiten utilizar una baja densidad espectral de potencia minimizando las interferencias en este tipo de enlaces. Además, pueden subsistir con sistemas de banda angosta utilizando de manera eficiente el espectro radioeléctrico. (ARCOTEL, s.f.)

Los sistemas MDBA se caracterizan por:

- *“Una distribución de la energía media de la señal transmitida, dentro de una anchura de banda mucho mayor que la convencional, y con un nivel bajo de potencia.*
- *La utilización de técnicas de modulación que proporcionan una señal resistente a las interferencias.*
- *Permitir a diferentes usuarios utilizar simultáneamente la misma banda de frecuencias.*
- *Coexistir con sistemas de banda angosta lo que hace posible aumentar la eficiencia de utilización del espectro radioeléctrico.”* (ARCOTEL, s.f.)

Las bandas en la que operan este tipo de sistemas se indican a continuación.

- 902 – 928 [MHz]
- 2400 – 2483.5 [MHz]
- 5150 – 5250 [MHz]
- 5250 – 5350 [MHz]
- 5470 – 5725 [MHz]
- 5725 – 5850 [MHz]

Las configuraciones en las que pueden operar este tipo de sistemas son las siguientes:

- Sistemas punto – punto.
- Sistemas punto – multipunto.
- Sistemas móviles.

Debido a la saturación del canal en la banda de 2.4 [GHz], la empresa utiliza el rango de frecuencias de 5.7 a 5.8 [GHz] para sus enlaces. Dentro de este rango de frecuencia se utilizan los estándares IEEE 802.11ac, IEEE 802.11n en la configuración de los equipos.

En la siguiente tabla se especifican de forma general algunas de las características de estos estándares.

Tabla 3. Características generales estándares IEEE 802.11 n, IEEE 802.11 ac.

ESTÁNDAR	802.11 n	802.11 ac
Frecuencia	2.4 [GHz], 5 [GHz]	5 [GHz]
Ancho de banda canales	20 [MHz], 40 [MHz]	20 [MHz], 40 [MHz], 80 [MHz]
Modulación	64 QAM	256 QAM
Flujos espaciales	1 - 4 <i>streams</i>	1 - 8 <i>streams</i>
MU-MIMO	No	Si
Velocidad transmisión	150 [Mbps] 1 <i>stream</i>	450 [Mbps] 3 <i>streams</i>
	450 [Mbps] 1 <i>stream</i>	900 [Mbps] 2 <i>streams</i>

1.10.2 GPON vs enlaces inalámbricos

En la siguiente tabla se muestra una tabla comparativa entre los enlaces inalámbricos MDBA versus la tecnología GPON.

Tabla 4. Comparación GPON con enlaces MDBA.

CARACTERÍSTICA	ENLACES MDBA	GPON
Velocidad Transmisión	900 Mbps 802.11 ac teórico	2.4 <i>downstream</i>
		1.2 <i>upstream</i>
Alcance	Máximo 800 [m]	20 [Km]
Disponibilidad enlace	Depende del medio físico y la distancia	No depende del medio físico ni de la distancia
Inmune a interferencias	No	Si
Latencia	Latencia alta en grandes distancias	Baja sin interferir la distancia
Soporte servicios convergentes	Si	Si
Calidad de servicio	Si	Si

De lo indicado en la tabla anterior se puede evidenciar que la tecnología GPON brinda una mayor capacidad de transmisión de datos con velocidades de transmisión de [Gbps]. Por utilizar la fibra óptica como canal de comunicación GPON ofrece alta disponibilidad en sus enlaces sin depender de medios físicos con un alcance entre 10 y 20 [Km], es inmune a interferencias brindando seguridad en la transmisión de información, y además posee una baja latencia en la transmisión de paquetes de sus enlaces sin importar la distancia que exista entre el transmisor y el receptor del mismo. Por tratarse de una red óptica pasiva GPON no utiliza equipos activos en la red de distribución óptica ODN, abaratando los costes en la instalación de este tipo de infraestructura.

En general la tecnología GPON es una solución viable para un sistema de comunicaciones, ya que nos proporciona conexiones confiables y de alta velocidad, con lo cual se puede ofrecer soluciones de alta capacidad para los

abonados integrando servicios de voz datos y video sobre un solo canal de comunicación.

1.11 Norma técnica despliegue de redes físicas.

Para el tendido y despliegue de cables de telecomunicaciones dentro de nuestro País, se debe tomar en consideración la normativa de carácter obligatoria existente. Para el efecto la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL, expidió la *“Norma técnica para el despliegue y tendido de redes físicas aéreas de servicios de telecomunicaciones, servicios de audio y video por suscripción (modalidad cable físico) y redes privadas.”* (ARCOTEL, s.f.)

Esta norma entró en vigencia en Octubre del año 2015 con aplicable a nivel nacional.

La norma hace referencia a varias consideraciones técnicas en el despliegue de una red de telecomunicaciones. Teniendo como punto fundamental la utilización de un herraje estándar por cada poste, el cual consta de 6 espacios o posiciones donde todas las empresas de telecomunicaciones deberán adosar sus redes. Este herraje debe ser instalado por parte de las empresas eléctricas dueñas de los postes.

Enfocados en este proyecto, a continuación se indican los parámetros más importantes que PUNTONET debe considerar al momento de desplegar sus redes de fibra óptica tomando en consideración la norma técnica indicada.

- Las redes físicas aéreas de un mismo propietario tienen que instalarse en un mismo herraje, estar empaquetadas, adosadas y debidamente etiquetadas.
- Las reservas de cables, que técnicamente una empresa considere necesario colocar en un sitio determinado, estará constituida del 40% de

la distancia existente del vano entre poste y poste, y será instalada a 1 [m] alejada de los mismos en forma de figura 8.

- No se pueden utilizar postes ornamentales de alumbrado público para el tendido de redes físicas aéreas.
- La ubicación de elementos pasivos deberá realizarse a 1.40 [m] alejados del poste.
- Los cables de telecomunicaciones deberán etiquetarse a los dos lados del poste. Estas etiquetas deben ser de color naranja con dimensiones de 5 [cm] de ancho y [15] a [20] cm de largo para redes de transporte y distribución, mientras que para redes de acceso deben ser de 5 [cm] de ancho por [10] cm de largo. De igual forma los elementos pasivos, cajas de empalme, deben poseer una etiqueta de identificación. En la etiqueta debe constar el nombre de la empresa y un número de teléfono claramente legible.
- Los cables de troncales y de distribución deben ser empaquetados garantizando una uniformidad del elemento visual, con la utilización de amarras plásticas a una distancia aproximada de 2.50 [m] entre las mismas, lo indicado no cumple para cables de la red de acceso.
- Para la red de acceso se deberá considerar el uso de máximo 8 postes por abonado. Considerando que la distancia entre vano y vano es de alrededor 50 [m].
- Los propietarios de redes físicas deberán retirar por su propio coste las redes de telecomunicaciones muertas que se encuentren en desuso.
(ARCOTEL, s.f.)

Es importante indicar que hasta la fecha de elaboración de este proyecto, no se está cumpliendo en un 100 por ciento la norma técnica mencionada por parte de los operadores de servicio, debido a que las empresas eléctricas a nivel nacional aún no instalan el herraje estándar señalado anteriormente. Pese a aquello la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones se encuentra realizando inspecciones con el afán de dar cumplimiento a su norma, enfocándose por el momento en la identificación de cables que reposan en los

postes. Por aquello es importante tomar en consideración los parámetros indicados previamente, para el tendido de cables en cualquier lugar del país.

2. Diseño de la red de acceso FTTH, utilizando el estándar GPON.

El presente capítulo está orientado en especificar las características necesarias para desplegar una red de acceso FTTH utilizando el estándar GPON. Bajo esta tecnología podemos obtener una red de acceso con la capacidad de soportar grandes anchos de banda, con tasas de transmisión elevadas. Una red GPON está compuesta de una OLT que se encuentra ubicado en una oficina central, la misma que se interconecta a través de la ODN con una ONT que se encuentra en las inmediaciones de los abonados. La señal de transmisión viaja a través de la fibra óptica y es distribuida por medio del uso de divisores ópticos pasivos (*splitters*).

2.1 Situación actual de la red de PUNTONET S.A sucursal Ibarra

PUNTONET S.A es una empresa de telecomunicaciones creada en el año 2000, que cuenta con 3 centros de gestión principales: Quito, Guayaquil, Cuenca, siendo la matriz la ciudad de Quito. Con el pasar del tiempo la cobertura de la empresa se ha expandido cubriendo en la actualidad gran parte del territorio nacional, entre las principales ciudades que la empresa tiene cobertura se encuentran: Ambato, Riobamba, Manta, Portoviejo, La Libertad, Duran, Playas, Quevedo, Babahoyo, Milagro, Machala, Santo Domingo, Ibarra, Francisco de Orellana, Santa Elena, Salinas, Esmeraldas, etc.

Una de las ciudades que mayor crecimiento ha experimentado con relación al número de abonados, desde su instauración ha sido la sucursal de Ibarra. En esta ciudad PUNTONET S.A posee oficinas propias que se encuentran ubicadas en la Av. Sánchez y Cifuentes y Velasco Edif. La Previsora.

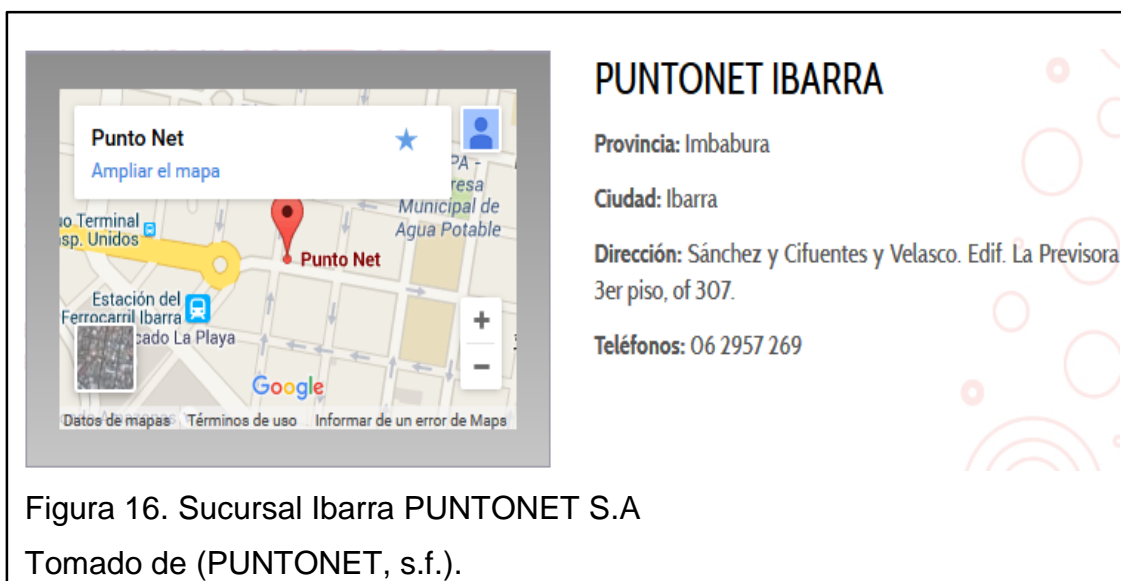


Figura 16. Sucursal Ibarra PUNTONET S.A

Tomado de (PUNTONET, s.f.).

En este lugar se encuentra instalado el nodo principal de operación para los diferentes servicios de telecomunicaciones que ofrece la empresa. A partir de este nodo principal se derivan los nodos wifi de acceso secundario por medio de sistemas inalámbricos punto a punto. Estos nodos wifi de acceso secundario sirven como plataforma de acceso de los abonados para acceder al servicio de internet. Los enlaces de salida interurbanos e internacionales con los que cuenta esta sucursal, son enlaces a través de medios físicos (fibra óptica) provistos por dos proveedores diferentes, es decir se cuenta con un enlace principal y otro de respaldo. Actualmente en esta ciudad se encuentra instalada una porción de red troncal de fibra óptica con una considerable cantidad de hilos disponibles. Esta red será utilizada para el diseño de la red FTTH, el mismo que se detallará más adelante.

La red de acceso que utiliza PUNTONET S.A en la sucursal Ibarra, para ofrecer el servicio de internet a sus abonados, es por medio de sistemas inalámbricos MDBA punto a punto, y punto multipunto en banda no licenciada de 5 [GHz]. Este tipo de sistemas que operan en bandas no licenciadas han traído consigo generalmente problemas en la última milla del enlace, produciendo: interferencia, ruido, intermitencia en la señal; generando malestar y disconformidad por el servicio ofrecido. Estos factores han influido para que la cantidad de desactivaciones haya incrementado por petición de los abonados.

Bajo esta tecnología necesariamente para asociar un abonado hacia la red de la empresa, debe existir una porción adecuada de línea de vista entre la antena transmisora y la antena receptora. Pero no siempre se tiene las condiciones ideales para obtener la línea de vista, debido a obstáculos o condiciones climáticas como lluvia o niebla que degradan la señal transmitida. En la siguiente figura se muestra un esquema de la red inalámbrica utilizada por la empresa en esta ciudad.

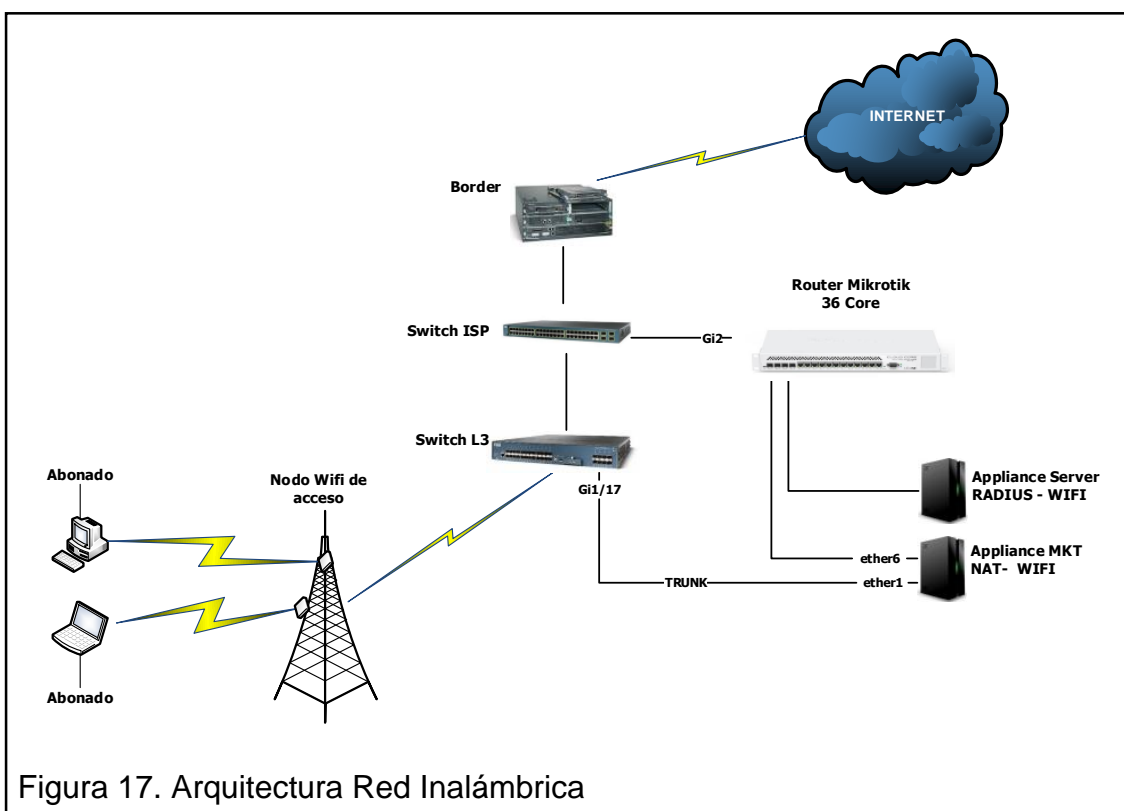
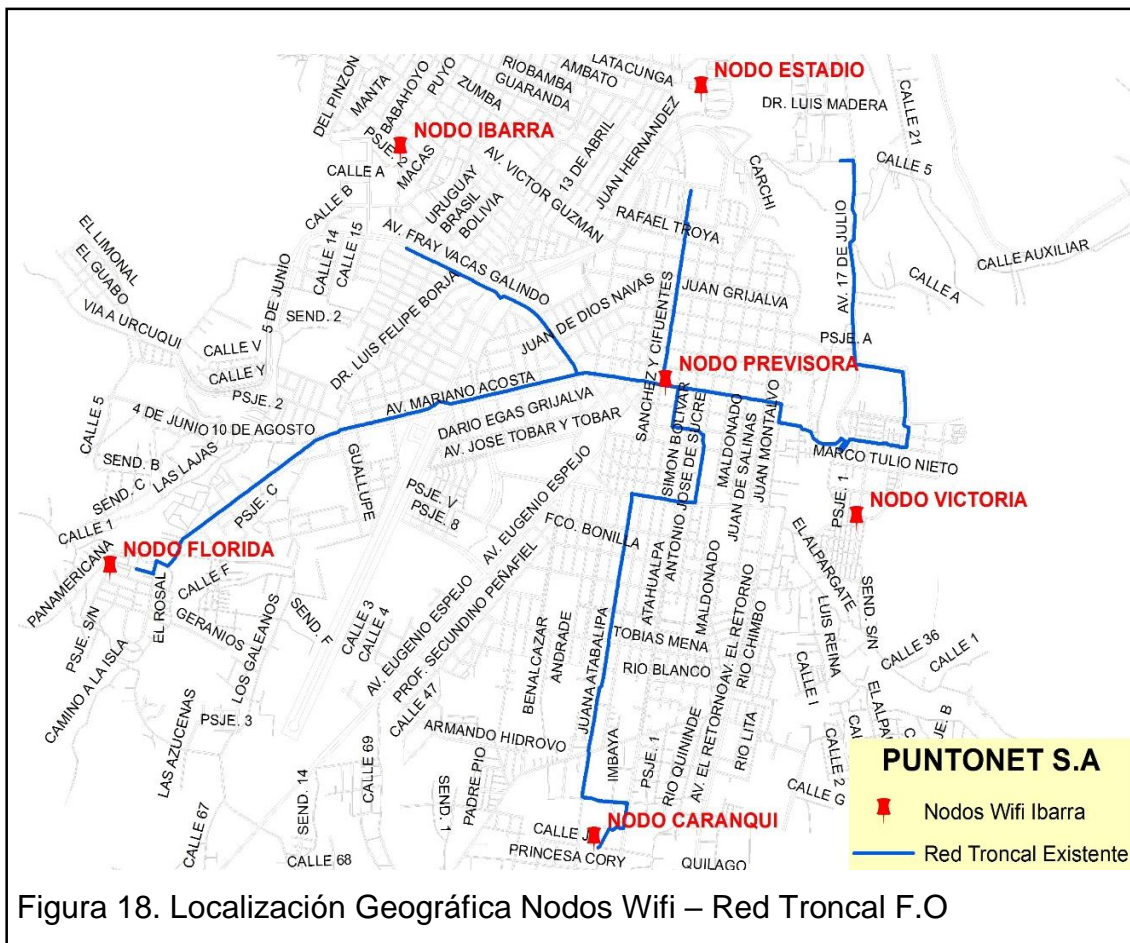


Figura 17. Arquitectura Red Inalámbrica

A continuación se muestra un esquema, donde se puede observar, la ubicación geográfica de los nodos wifi de acceso secundarios, los cuales se encuentran dispersos en la zona urbana de la ciudad, y de los cuales se obtendrán más adelante la localización geográfica de los abonados para realizar el diseño de la red FTTH, además se puede visualizar el tendido de fibra óptica troncal que existe en la actualidad.



Por motivos de confidencialidad, no se permite indicar la ubicación exacta de los nodos wifi de acceso secundarios, que se encuentran localizados en la ciudad de Ibarra, por lo cual se hará únicamente mención a los sectores donde dichos nodos brindan cobertura en un radio de 1.5 [Km] respecto a su ubicación.

Los sectores donde actualmente la empresa brinda cobertura son:

Caranqui, Sagrario, Victoria, Olivo, Estadio, Azaya, Ejido, Pugacho, Florida, Las Palmas, Jardín, Yuyucocha.

En estos sectores PUNTONET S.A. cuenta con alrededor de 700 abonados con tecnología inalámbrica. El número de abonados aproximado que se encuentran asociados a estos nodos se especifican en la siguiente tabla.

Tabla 5. Número de abonados aproximado por nodo wifi de acceso

N°	NOMBRE NODO	NUM. ABONADOS
1	NODO AZAYA	50
2	NODO CARANQUI	120
3	NODO ESTADIO	100
4	NODO IBARRA	120
5	NODO LA FLORIDA	80
6	NODO PREVISORA	180
7	NODO VICTORIA	50

En la siguiente tabla se muestra el ancho de banda configurado para cada nodo wifi de acceso secundario, mencionar que el ancho de banda indicado, está dedicado para ofrecer el servicio de Internet.

Tabla 6. Ancho de banda aproximado configurado por nodo wifi de acceso.

N°	NOMBRE NODO	A.B CONFIGURADO DOWN/UP [Mbps]
1	NODO AZAYA	45,6 / 40,6
2	NODO CARANQUI	45 / 45
3	NODO ESTADIO	84,6 / 54,6
4	NODO IBARRA	51,2 / 67,8
5	NODO LA FLORIDA	60 / 60
6	NODO PREVISORA	400 / 400
7	NODO VICTORIA	58,6 / 58,6

Los anchos de banda mostrados en la Tabla 6., no pueden incrementarse debido a la capacidad que tienen los equipos utilizados. Es importante indicar que los abonados poseen un plan promedio de 2,5 [Mbps] con un nivel de compartición de 6:1. Ofreciendo al abonado en horas pico un ancho de banda de alrededor 400 [kbps], siendo insuficiente para soportar en la actualidad varias aplicaciones que requieren de un mayor ancho de banda, por lo cual queda evidenciado que es importante utilizar una nueva tecnología de acceso de mayor capacidad en esta ciudad.

2.2 Diseño de la red GPON.

Una vez que ya se tiene conocimiento de la situación actual de la red que posee la empresa en la ciudad de Ibarra, con el fin de establecer un diseño óptimo se deben tomar en consideración algunos aspectos que se ven involucrados con las condiciones ideales para establecer un enlace, que tiene que ver con la instalación de equipos, tendido de cables, ubicación geográfica de los abonados, factibilidad de uso de postes, etc. Se debe tener en cuenta que al momento de diseñar una red, la misma debe brindar prestaciones de escalabilidad, y flexibilidad para poder adaptarse a cualquier tipo de tecnología, y poder ampliarse a futuro sin tener que modificar en demasía la red previamente instalada.

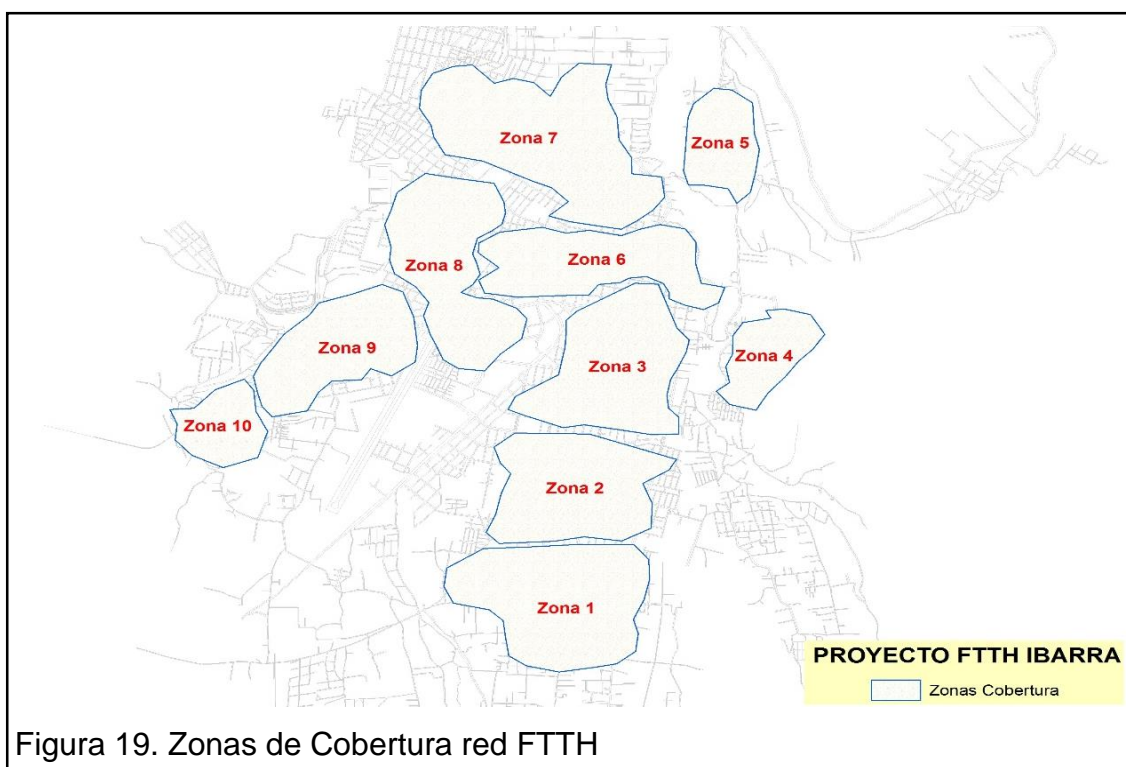
2.2.1 Dimensionamiento de la red

El diseño de la red se sitúa sobre la zona urbana de la ciudad de Ibarra, el área de cobertura que se plantea en este diseño, se compone de sitios donde actualmente la empresa tiene penetración de servicio, es decir donde se localizan geográficamente los abonados, sin dejar de considerar una posible expansión a futuro de clientes y servicios bajo la tecnología GPON.

Tomando en cuenta la cantidad de abonados existentes en la ciudad, y que las redes de acceso GPON contempla un alcance máximo de 10 a 20 [Km], se decide sectorizar en 10 zonas de cobertura a la ciudad de Ibarra, para facilitar el diseño de la red. Las zonas de cobertura que se determinan son las siguientes:

- Zona 1: comprende los sectores Caranqui, Yuyucocha.
- Zona 2: comprende los sectores Caranqui, Yacucalle.
- Zona 3: comprende los sectores Sagrario, Cruz Verde.
- Zona 4: comprende el sector La Victoria.
- Zona 5: comprende el sector El Olivo.

- Zona 6: comprende los sectores San Francisco, San Agustín, La Merced.
- Zona 7: comprende los sectores Estadio, Colinas de Ibarra, Alpachaca, Azaya.
- Zona 8: comprende los sectores Las Palmas, Jardín de Paz, Nuevos Horizontes.
- Zona 9: comprende los sectores Ejido, Pugacho.
- Zona 10: comprende el sector La Florida.



Tomando en consideración que la tecnología GPON permite velocidades de transmisión de 2,48 [Gbps] en sentido *downstream*, 1,25 [Gbps] en sentido *upstream* según la norma ITU-T G.984.1, y considerando los niveles de *splitteo* que se utilizarán para el diseño de la red, los mismos que serán detallados más adelante, tendremos la posibilidad de conectar hasta 64 abonados por cada puerto PON de la OLT.

2.2.2 Tecnología y Arquitectura de la red

Dadas las condiciones de la red actual que posee la empresa, la ubicación geográfica de la ciudad de Ibarra y la gran capacidad de ancho de banda que ofrece la fibra óptica para la transmisión de datos, se plantea un diseño de red con una arquitectura óptica bajo el escenario FTTH (*Fiber to the Home*) con tecnología GPON, mediante la cual se desea llegar directamente hasta las inmediaciones de los abonados utilizando fibra óptica. El diseño propuesto se basa en la recomendación ITU-T G.984 (redes ópticas pasivas con capacidad de gigabit), con el objetivo de brindar un mejor servicio a los abonados de la empresa incrementando el ancho de banda de sus enlaces.

Una red FTTH está compuesta por un equipo OLT que se localiza en la oficina central del operador de servicio, una red de distribución óptica ODN, y terminales de línea ópticos ONT's, que se encuentran en las inmediaciones de los abonados. A través de los cables de fibra óptica se pueden realizar las conexiones entre los equipos OLT y ONT, con la ayuda de un divisor óptico pasivo *splitter*.

Las áreas de cobertura que se plantean en la Figura 19, se desarrollan en base a la localización geográfica de los abonados que posee la empresa con tecnología inalámbrica, y además se toma en consideración los lugares donde potencialmente existiría un crecimiento a futuro. Como punto inicial se procederá a geo-referenciar a los abonados con tecnología inalámbrica existentes en la sucursal Ibarra, con la ayuda del software ArcGis.

ArcGis es un sistema de información geográfica que permite recopilar, administrar, analizar, y distribuir información geo-referenciada. Se puede definir a este software como una estructura para elaborar mapas donde se refleja la información geográfica de una red. (Arcgis, s.f.)

En la siguiente figura se muestra de forma general la ubicación geográfica de los abonados que posee la empresa en la ciudad de Ibarra.

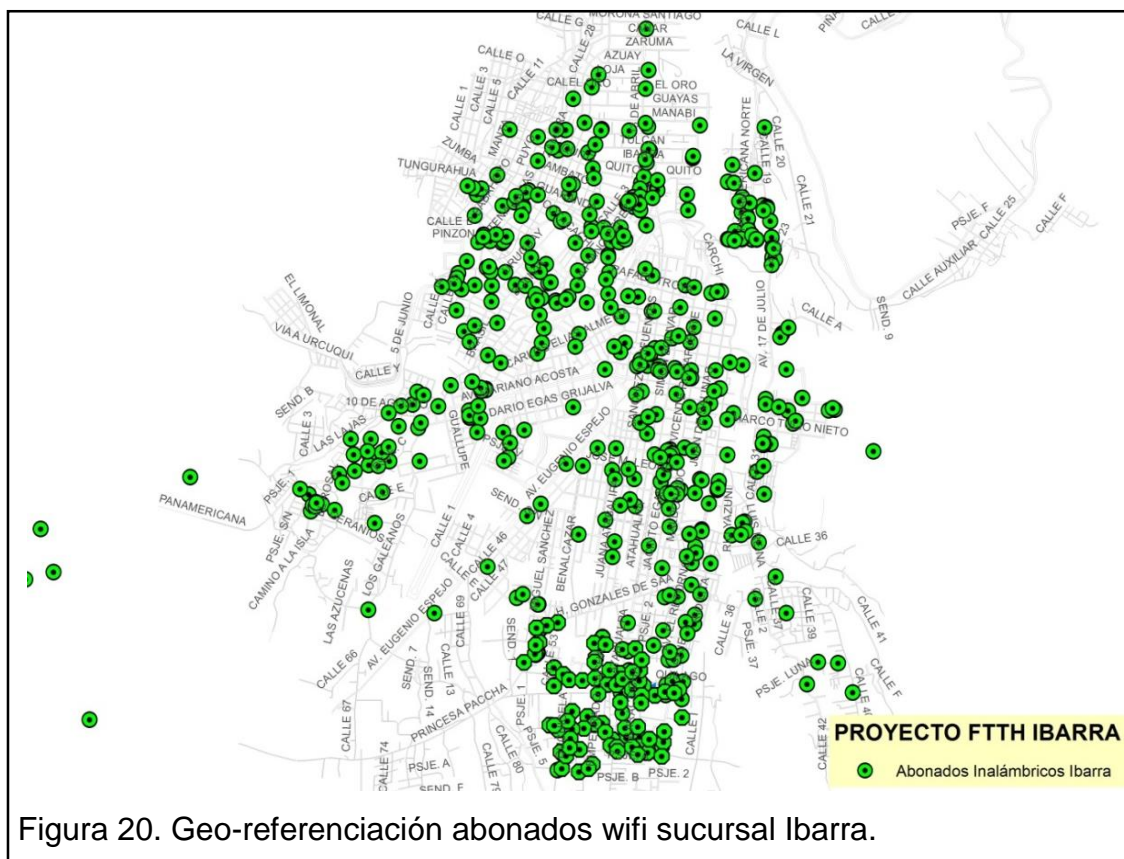


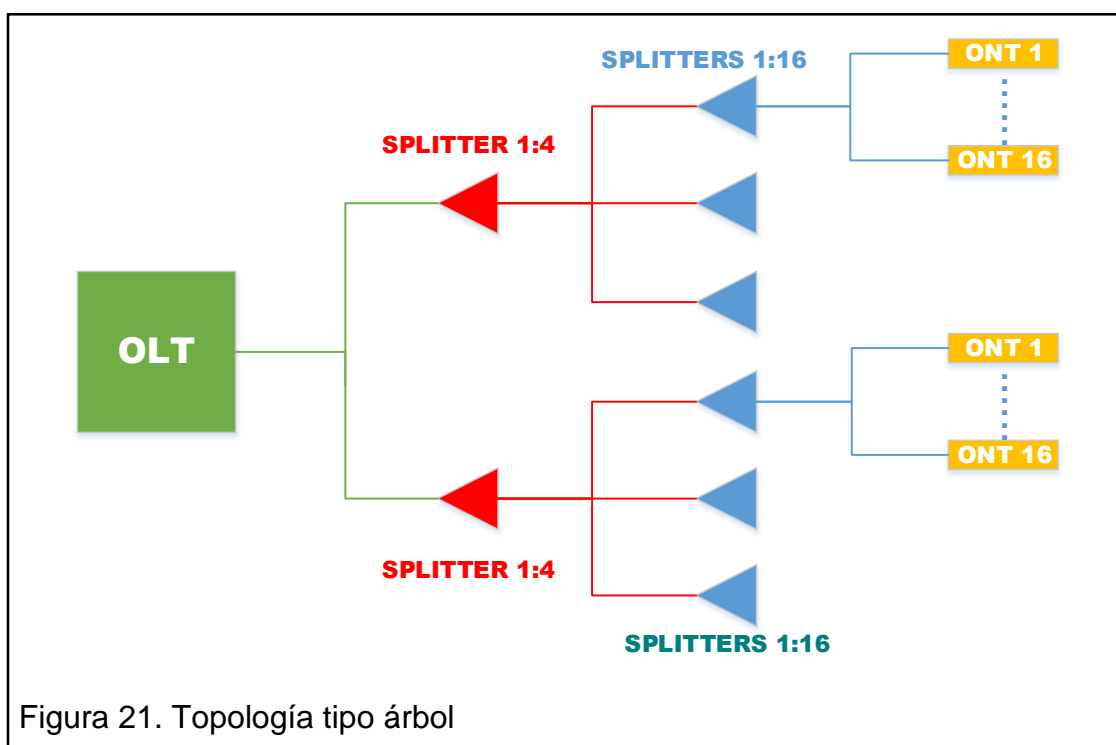
Figura 20. Geo-referenciación abonados wifi sucursal Ibarra.

2.2.3 Topología de la red

Las redes FTTH GPON permiten desplegar topologías punto multipunto con la ayuda de acopladores y divisores ópticos pasivos a través de la ODN. Permitiendo conectar el equipo principal de operación OLT, con los equipos localizados en las inmediaciones de los abonados ONT's. Tomando en consideración lo indicado se ha decidido implementar una topología punto multipunto, tipo árbol dentro de la cual, el punto central para realizar la interconexión del tráfico de forma bidireccional será la OLT. Bajo esta topología se hará uso de dos niveles jerárquicos de *splitteo*, empleando *splitters* primarios en el primer nivel y *splitters* secundarios en el segundo nivel, los mismos que serán colocados en cada zona de cobertura que se indicaron previamente en la Figura 19.

La OLT será la encargada de alimentar a los *splitters* primarios a través de la red troncal de fibra óptica con la utilización de mangas de empalme o cajas de

distribución. A su vez cada *splitter* primario alimentará a los *splitters* secundarios que le correspondan, a través de la red de distribución, de igual forma con la ayuda de mangas de empalme o cajas de distribución. Y finalmente desde el *splitter* secundario se realizará la acometida hacia cada abonado.



2.2.4 Dimensionamiento Red Pasiva

2.2.4.1 Tendido fibra óptica.

Como ya se indicó en la sección 1.2 del capítulo I, existen dos tipos de fibra óptica (monomodo, multimodo) que se pueden utilizar para la implementación de una red óptica, para este proyecto se toma como referencia la instalación de cables de fibra óptica, para tendido aéreo a través de los postes, de tipo monomodo de 24 y 12 hilos, bajo la recomendación ITU-T G.652.D para la red troncal y red de distribución respectivamente, mientras que para la red de acceso se define utilizar fibra óptica de 2 hilos, tipo monomodo bajo la recomendación ITU-T G.657.A. Se optó por escoger este tipo de fibras ya que

son compatibles para su interconexión, además permiten trabajar en un rango de operación entre la segunda y tercera ventana de transmisión, proporcionando altas velocidades para transmitir información, y permitiendo el tráfico de voz y datos en 1310 [nm] en sentido *upstream*, 1490 [nm] en sentido *downstream* y tráfico de video en 1550 [nm].

A continuación se indica de forma general las especificaciones de la fibra óptica monomodo escogida, de acuerdo a la recomendación que se va a utilizar.

2.2.4.1.1 Recomendación ITU-T G.652

En esta recomendación se describen las características geométricas, mecánicas y detalles de los atributos de transmisión de un cable de fibra óptica de tipo monomodo, que puedan operar en la segunda y tercera ventana de transmisión, con longitudes de onda de 1310 [nm] y 1550 [nm]. Se debe indicar que la longitud de onda de dispersión nula se sitúa en los 1310 [nm]. (International Telecommunication Union, s.f.)

Existen 4 variantes de la recomendación ITU-T G.652 (A, B, C, D), de las cuales se selecciona la recomendación G.652.D para los fines referentes a este proyecto.

En la siguiente tabla se muestran algunas de las principales características de la variante G.652.D.

Tabla 7. Características G.652.D

ITU-T 6.652.D ATRIBUTOS		
Atributos	Detalle	Valor
Diámetro campo modal	Longitud de onda	1310 [nm]
	Rango	8.6 - 9.5 [μm]
	Tolerancia	± 0.6 [μm]
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 [nm]
Coeficiente de dispersión cromática	λ Max	1300 [nm]
	λ Min	1324 [nm]
	S0max	0.092 [ps/nm ²] \times [km]
Coeficiente de atenuación	Máximo desde 1300 [nm] a 1625 [nm]	0.4 [dB/Km]
	Máximo 1383 [nm] \pm 3 [nm]	0.4 [dB/Km]
	Máximo a 1550 [nm]	0.3 [dB/Km]
Coeficiente PMD	M	20 cables
	Q	0.01%
	Máximo PMDQ	0.20 [ps/km]

Adaptado de (International Telecommunication Union, s.f.)

2.2.4.1.2 Recomendación ITU-T G.657

En esta recomendación se describe cables de fibra óptica tipo monomodo para redes de acceso bajo dos categorías: G.657.A y G.657.B.

Las fibras de categoría G.657.A están optimizadas para reducir la pérdida por macrocurvatura y pueden ser desplegadas en cualquier sitio de la red de acceso, además tienen compatibilidad con el tipo de fibras indicadas en la recomendación ITU-T G.652.D ya que poseen las mismas propiedades de transmisión e interconexión. Las fibras de categoría G.657.B son empleadas para distancias cortas menos de 1000 [m], dentro de la red de acceso, este tipo de fibras no necesariamente son compatibles con la recomendación ITU-T

G.652.D, en términos del coeficiente de dispersión cromática y especificaciones PMD. (International Telecommunication Union, s.f.)

Tabla 8. Características G.657.A

ITU-T 6.657.A ATRIBUTOS		
Atributos	Detalle	Valor
Diámetro campo modal	Longitud de onda	1310 [nm]
	Rango	8.6 - 9.5 [μm]
	Tolerancia	± 0.4 [μm]
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 [nm]
Coeficiente de dispersión cromática	λ Max	1300 [nm]
	λ Min	1324 [nm]
	S0max	0.092 [ps/nm ²] x [km]
Coeficiente de atenuación	Máximo desde 1300 [nm] a 1625 [nm]	0.4 [dB/Km]
	Máximo 1383 [nm] ± 3 [nm]	0.4 [dB/Km]
	Máximo a 1550 [nm]	0.3 [dB/Km]
Coeficiente PMD	M	20 cables
	Q	0.01%
	Máximo PMDQ	0.20 [ps/km]

Adaptado de (International Telecommunication Union, s.f.)

Por tratarse de un tipo de tendido aéreo, se selecciona un cable del tipo ADSS (*All-Dielectric Self-Supporting*), con característica *loose tube*, en donde la fibra óptica se encuentra dentro de un recubrimiento secundario exterior que por lo general es de plástico. Este tipo de cables son ideales para el tendido aéreo por postes debido a su característica de inmunidad a interferencias eléctricas.

2.2.4.2 Splitters

Los *splitters* son dispositivos pasivos que permiten conectar un terminal de línea ONT óptica a una unidad de red óptica OLT, constituyéndose en el

elemento pasivo que se encarga de distribuir las señales a través de la red de distribución óptica ODN, y permite la conexión punto multipunto entre la OLT y los abonados. Para el diseño de la red FTTH se utilizarán *splitters* para ambientes exteriores aéreos, que se colocarán dentro de las cajas de empalme para proceder con la separación de los hilos de fibra, y al mismo tiempo brindar protección al *splitter*, de factores como polvo y humedad.

Como se mencionó en la sección **2.2.3**, se emplearán dos niveles jerárquicos de *splitteo*, el primer nivel *splitter* primario 1:4 y el segundo nivel *splitter* secundario 1:16, obteniendo de esta forma un máximo de 64 abonados por cada puerto PON de la OLT sobre una misma fibra óptica.

Las pérdidas introducidas por la utilización de divisores ópticos pasivos *splitters* a través de la red se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 9. Pérdidas por inserción de splitters.

TIPO SPLITTER	PÉRDIDA POR INSERCIÓN [dB]
1:2	3,6
1:4	7,2
1:8	11
1:16	14
1:32	17,5

Tomado de (Castelli, M., Fosatti, JP., Camacho, M., Chakelson, C., 2009)

2.2.4.3 Conectores

Los conectores son uno de los dispositivos pasivos más importantes dentro de la arquitectura de una red óptica, ya que permiten la unión de dos o más fibras ópticas entre sí. Para el diseño propuesto se establece el uso de 4 tipos de conectores, los cuales se indican a continuación:

- En la OLT se utiliza un conector del tipo SC/UPC.
- En el ODF se utiliza un conector del tipo LC/UPC.
- En la caja multimedia se utiliza un conector del tipo SC/UPC.

- En el ONT se utiliza un conector del tipo SC/UPC o SC/APC.

Según la recomendación ITU-T G.671 las pérdidas producidas por la inserción de conectores en fibras ópticas de tipo monomodo es de 0,5 [dB] por cada conector. (International Telecommunication Union, s.f.)

2.2.4.4 Cajas de empalme

Las cajas de empalme o mangas, son elementos cuya funcionalidad principal radica en proteger a las fibras de cualquier factor externo que pueda afectar a su estructura. Las mangas a utilizarse para el diseño de la red deben ser aptas para exteriores aéreos, y deben permitir la colocación de bandejas de empalme de al menos 24 hilos.

Una vez señalados los requerimientos mínimos que deben tener estos elementos, se sugiere utilizar las cajas de empalme marca Tyco Fosc 350 para el diseño de red. Estas mangas serán utilizadas en lugares donde se realicen empalmes de fusión con *splitter* primario 1:4 (red troncal), y empalmes de fusión con *splitter* secundario 1:16 (red distribución).

Esta caja de empalme posee un cierre hermético con gel, para la protección de empalmes de cables de fibra en redes de planta externa, y puede ser utilizada en ambientes aéreos o subterráneos, con una capacidad de hasta 96 empalmes. (Global Electric S.A, s.f.)



Figura 22. Caja Empalme Tyco Fosc 350
Adaptado de (Global Electric S.A, s.f.)

2.2.4.5 ODF

Un distribuidor de fibras ópticas, es un elemento que se usa principalmente para conectar fibras y cables ópticos dentro de un rack. Un ODF debe encontrarse diseñado para combinar altas densidades de cables de fibra óptica y al mismo tiempo brindar facilidad para su utilización, además de seguridad y sencillez en su mantenimiento.

El mínimo requerimiento para este elemento pasivo en el diseño de la red FTTH, radica en que al menos posea 48 puertos, de esta forma se logrará una distribución adecuada y ordenada de los cables de fibra óptica.

2.2.4.6 Elementos de sujeción de cables

- **Herrajes:** Para el tendido de cables de fibra óptica se puede hacer uso de del herraje tipo C, uno por cada poste. Este tipo de herraje está diseñado para cumplir funciones de retención de cables ADSS, y está confeccionado de una barra redonda lisa de acero con un diámetro de alrededor de 10 [mm]. (Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, 2011)
- **Tensores:** Son elementos cuya labor es sujetar al cable ejerciendo una presión directa sobre el mismo. Están compuestos de material termoplástico reforzado, a excepción del gancho de amarre que es de acero inoxidable, se colocan en todos los postes tanto a la entrada como a la salida del mismo y poseen una alta resistencia mecánica lo cual evita el daño de las cubiertas aislantes de los cables de fibra óptica.

2.2.5 Dimensionamiento Infraestructura Activa

2.2.5.1 OLT

La OLT es el equipo principal de la red, de donde parten las conexiones en forma bidireccional en sentido *downstream*, y *upstream* desde y hacia los abonados. Tomando en consideración la arquitectura de red que se plantea, las mínimas características que debe poseer este equipo son: soportar el estándar ITU-T G.984, velocidades de transmisión de 2,4 [Gbps] *downstream*, 1,2 [Gbps] *upstream*, con puertos GPON para la conexión hacia los abonados, y puertos de *uplink* para la integración con redes IP-MPLS.

En base a lo expuesto el modelo de chasis de la OLT seleccionado para la red FTTH, es de marca Calix modelo E7-2 con tarjetas GPON-8.

Las principales características del equipo seleccionado se indican a continuación.

- Se coloca dentro de una unidad de rack.
- Posee 2 slots para inserción de tarjetas GPON.
- Interfaces SFP, XFP, SFP +.
- Administración local y remota.
- La tarjeta GPON-8 posee 8 puertos GPON, además de 2 interfaces *Gigabit Ethernet* y 2 interfaces 10 *Gigabit Ethernet* para enlaces *uplink*.
- Alcance 20 [Km] con módulos SFP.
- Soporte de estándares ITU-T G.984.1 – G.984.4, ITU-T G.8032 (ERPS), IEEE 802.1w (RTSP), IEEE 802.3ad/802.1AX.
- Calidad de servicio (QoS).
- Potencia transmisión clase B+ ITU-T G.984.2
- Sensibilidad de recepción clase B+ ITU-T G.984.2
- Conexión en caliente.

De acuerdo a los niveles de *splitteo* planteados para el diseño de la red FTTH, se lograrían obtener un total de 512 ONT's asociados a cada tarjeta GPON-8 de la OLT.



Figura 23. Calix E7-2 Sistema de acceso modular
Adaptado de (Calix, 2016)



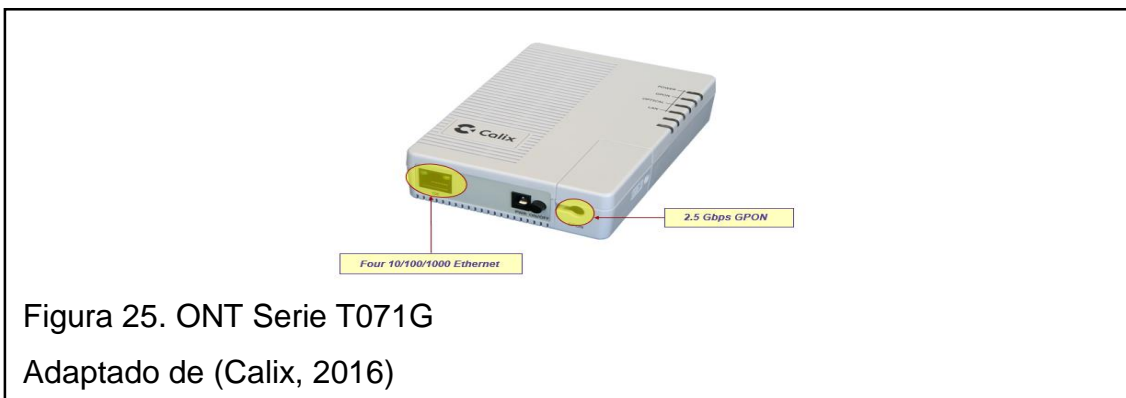
Figura 24. Tarjeta GPON-8
Adaptado de (Calix, 2016)

2.2.5.2 ONT

Un ONT es un equipo cuya finalidad es convertirse en el punto de terminación de red, entre la red del proveedor de servicios y la red interna del abonado. Tomando en consideración la arquitectura de red que se plantea las mínimas características que debe poseer este equipo son: soportar el estándar ITU-T G.984, velocidades de transmisión de 2,4 [Gbps] *downstream*, 1,2 [Gbps] *upstream*, mínimo 1 puerto GPON, 1 puerto 100 Base-T.

En base a lo expuesto el modelo de ONT seleccionado para la red FTTH correspondiente a este proyecto es de marca Calix modelo T071G. Las principales características de este equipo son las siguientes:

- Estándares ITU-T G.984, IEEE 802.3a, IEEE 802.3n, IEEE 802.3ac.
- 1 puerto GPON.
- 1 puerto 10/100/1000 Base T
- Modelo capa 2 y capa 3.
- Calidad de servicio (QoS)
- Sensibilidad de recepción clase B+ ITU-T G.984.2
- Potencia de transmisión clase B+ ITU-T G.984.2.
- Administración local y remota.



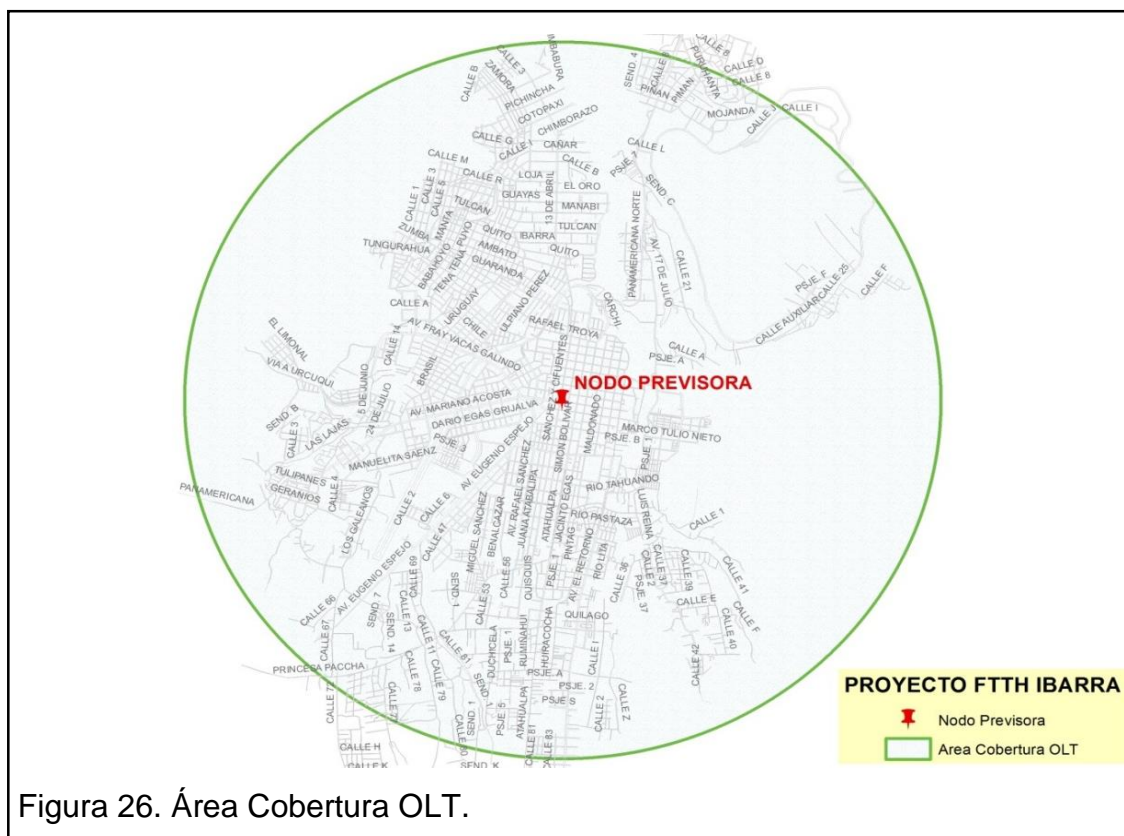
Es importante señalar que existe gran variedad de modelos de ONT más sofisticados que el equipo escogido, obviamente con un costo de adquisición mucho más elevado. Pero se seleccionó este equipo, ya que se plantea reutilizar los routers que ya poseen los abonados con tecnología inalámbrica. De esta forma se puede dar uso a este equipamiento y no desecharlo.

2.2.6 Diseño de la red FTTH

2.2.6.1 Ubicación de la OLT

Teniendo en cuenta la localización geográfica de los abonados, se decide tomar como punto central para la ubicación de la OLT, al Nodo Previsor ubicado en la Av. Sánchez y Cifuentes y Juan de Velasco, debido a que posee una infraestructura de telecomunicaciones robusta por el ser el nodo principal de la sucursal, y brinda todas las facilidades físicas para la instalación del

equipo. De acuerdo a normativas que maneja la empresa internamente, se delimita el área de cobertura de la OLT a un radio de 4,5 [Km]. Dentro de esta área se deberá realizar la instalación de las redes troncales y de distribución con sus correspondientes *splitters* primarios y *splitters* secundarios para la red FTTH.



2.2.6.2 Selección de rutas

La selección de rutas por donde se realizará el tendido de cables de fibra óptica es un parámetro muy importante en el diseño de la red, ya que bajo este escenario las rutas de cable de fibra óptica, deben converger con la localización de los abonados que posee la empresa, y además a futuro permitir expandir la red de forma ordenada. Para el diseño de la red se contempla la utilización de rutas troncales donde se ubicarán los *splitters* primarios, rutas de distribución donde se colocarán los *splitters* secundarios y rutas de acceso refiriéndose a las acometidas hacia los abonados.

Como se mencionó anteriormente el tendido de red será de tipo aéreo, y necesariamente tendrá que utilizar postería de propiedad de la empresa eléctrica EMELNORTE. Actualmente PUNTONET S.A ya mantiene un contrato por uso de este tipo de infraestructura, y si se decide implementar este proyecto se deberá modificar el contrato vigente a través de una adenda por la utilización de una mayor cantidad de postería.

2.2.6.3 Codificación cajas de empalme

Para facilitar la identificación de las cajas de empalme que se utilizarán en este proyecto, se hará uso de una codificación específica, la cual constará de 3 campos.

Dónde:

- **M:** Tipo de manga.
- **IBR:** Siglas de la ciudad.
- **0001:** Número de manga.

Esta codificación será empleada tanto para mangas troncales y mangas de distribución desplegadas en la red GPON.

2.2.6.4 Diseño Red troncal

Como se había indicado en la sección 2.1 la empresa, posee una red troncal de fibra óptica ya instalada en la ciudad de Ibarra. Este tendido de fibra óptica tiene una cantidad considerable de hilos disponibles, por lo que para efectos de este proyecto se plantea la utilización de 24 hilos de fibra óptica de la mencionada red.

Dichos hilos prácticamente cubrirían la mayoría de zonas de cobertura descritas en la Figura 19, exceptuando la Zona 7. Para brindar cobertura a esta

zona se deberá efectuar un nuevo tendido de cable de fibra óptica ADSS de 24 hilos bajo la recomendación ITU-T G.652.D. El tramo donde se deberá realizar la instalación estaría comprendido desde la Av. Jaime Roldos Aguilera y Sánchez y Cifuentes, hasta la intersección de las calles Tena y Ambato, con una extensión aproximada de 1.7 [Km]. Realizado este tendido de cable de fibra óptica, se tendría la totalidad de la red troncal instalada, para el diseño propuesto.

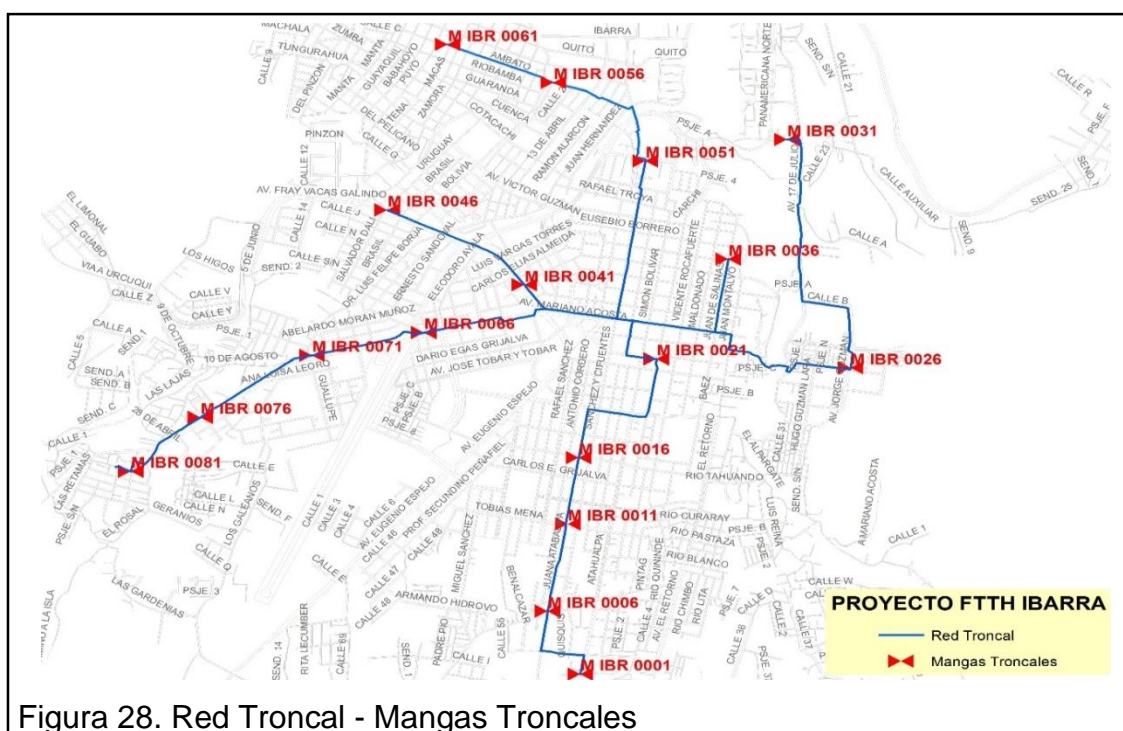


Sobre la red troncal se efectuará el primer nivel de *splitteo*, y se colocarán las cajas de empalme Tyco Fosc 350 con *splitters* primarios 1:4. Desde cada manga troncal se derivarán 4 mangas de distribución las mismas que se detallarán más adelante.

Una vez realizada la instalación de las cajas de empalme con sus respectivos *splitters*, el nivel de potencia que se deberá mostrar a la salida del *splitter* troncal 1:4 será de -5 [dBm].

Con el fin de cubrir todas las zonas de cobertura evidenciadas en la Figura 19, se plantea realizar la instalación de 17 mangas troncales, distribuidas dentro de cada zona de cobertura del proyecto.

En la Figura 28, se muestra el tendido de fibra óptica troncal necesario para el despliegue de la red FTTH, además se puede visualizar la ubicación tentativa que tendrían las mangas troncales con *splitter* primario 1:4.



2.2.6.5 Diseño Red de distribución

Se deberá realizar el despliegue de toda la red de distribución, para el efecto se deberán realizar sangrados con fibra óptica de 12 hilos ITU.T G.652.D desde las mangas troncales hacia la ubicación de cada una de las mangas de distribución, a través de rutas específicas que cubran las zonas de cobertura indicadas en la Figura 19.

Sobre esta red se efectuará el segundo nivel de *splitteo*, y se colocarán las cajas de empalme Tyco Fosc 350 con *splitters* secundarios 1:16. Cada manga

de distribución tendrá un radio de cobertura de 350 [m] contemplados para la instalación de acometidas hacia los abonados. Una vez realizada la instalación de las cajas de empalme con sus respectivos *splitters*, el nivel de potencia que se deberá mostrar a la salida del *splitter* de distribución 1:16 será de -18 [dBm].

Es importante indicar que los *splitters* 1:16 que se utilizarán en este segmento de la red, vienen divididos en dos grupos de 8 hilos cada uno, manteniendo el código de colores empleado en la fibra óptica. Es decir cada *splitter* 1:16 traerá consigo dos hilos de color azul, dos hilos de color naranja, dos hilos de color verde, dos hilos de color café, dos hilos de color gris, dos hilos de color blanco, dos hilos de color rojo, dos hilos de color negro. Estos hilos posteriormente serán utilizados para realizar las fusiones con el cable de fibra óptica de 2 hilos correspondientes a las acometidas de los abonados.

Con el fin de cubrir todas las zonas de cobertura evidenciadas en la Figura 19, se plantea realizar la instalación de 67 mangas de distribución en todo el proyecto.

En la Figura 29, se muestra el tendido de fibra óptica correspondiente a la red de distribución para la Zona 1 de cobertura. Además se puede visualizar la ubicación tentativa que tendrían las mangas de distribución con *splitter* secundario 1:16 dentro de dicha zona.

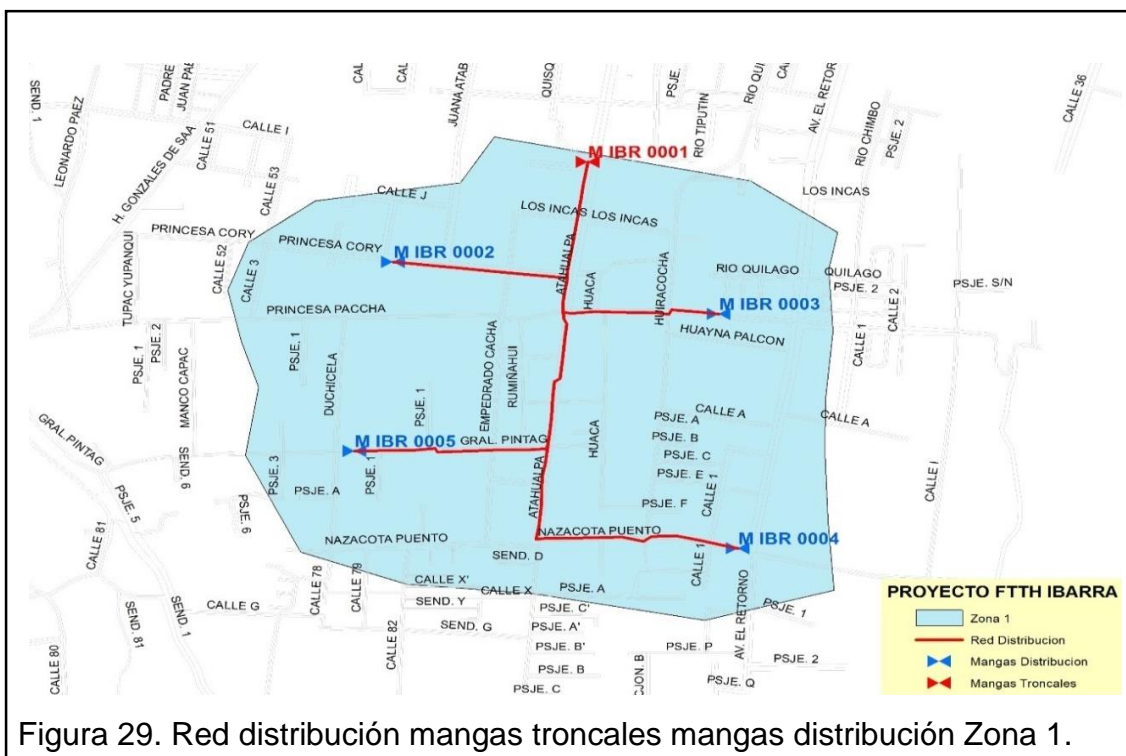


Figura 29. Red distribución mangas troncales mangas distribución Zona 1.

En la Figura 30 se muestra el área de cobertura efectiva de 350 [m], que tendrían las mangas de distribución para esta zona.

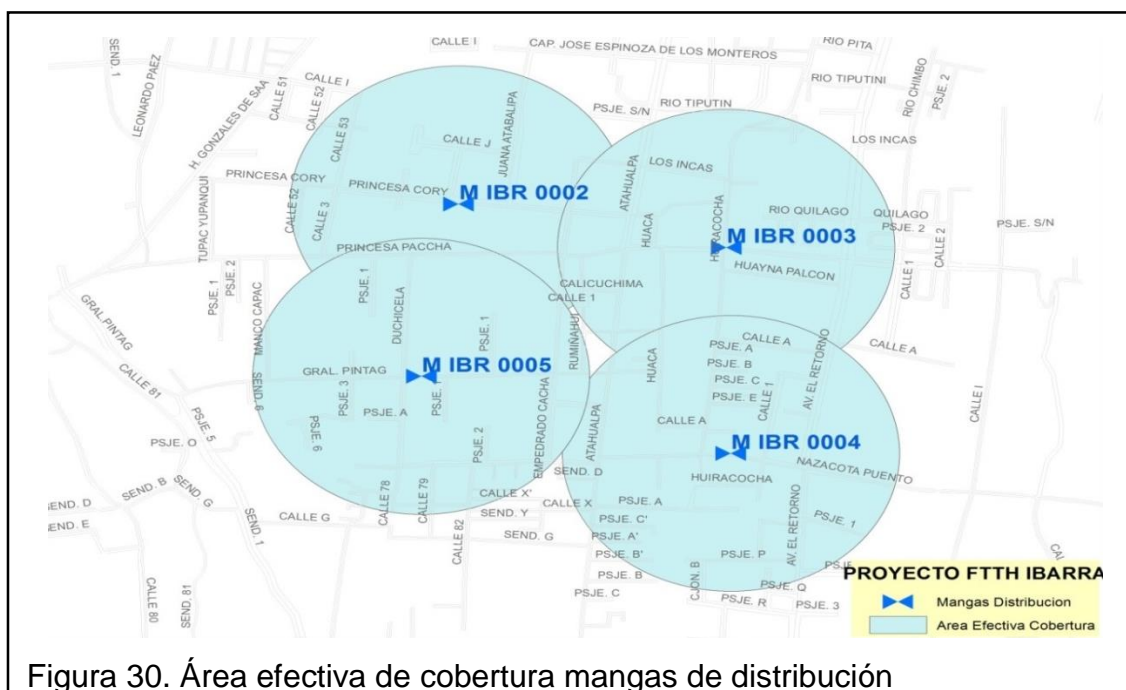


Figura 30. Área efectiva de cobertura mangas de distribución

En el Anexo A se muestran los tendidos de fibra óptica correspondientes a la red de distribución de las zonas de cobertura restantes.

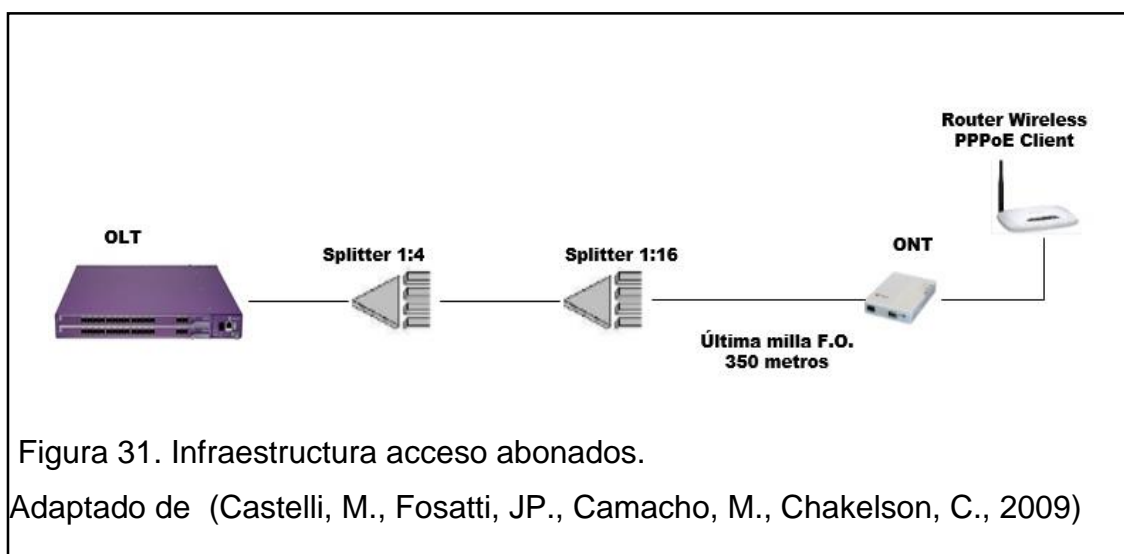
En la siguiente tabla se muestra un resumen de la cantidad de: fibra óptica, *splitters* troncales, *splitters* de distribución, cajas de empalme, necesarios para implementar la solución anterior en todas las zonas de cobertura.

Tabla 10. Resumen cantidad fibra óptica, splitters, cajas de empalme.

Zona	[Km]. red troncal	[Km]. Red distribución	Mangas troncales	Mangas distribución	Splitters troncales	Splitters distribución
zona 1	-	3.8	1	4	1	4
zona 2	-	4.2	2	8	2	8
zona 3	-	3.8	2	8	2	8
zona 4	-	1.8	1	4	1	4
zona 5	-	2.2	1	4	1	4
zona 6		4.8	2	8	2	8
zona 7	1.7	6.8	3	12	3	12
zona 8	-	4.2	2	8	2	8
zona 9	-	3.35	2	8	2	8
zona 10	-	1.1	1	3	1	3
TOTAL	1.7	36.05	17	67	17	67

2.2.6.6 Diseño Red de Acceso

La red de acceso contempla el tramo final de la línea de comunicación que brinda el servicio al abonado. En este punto de la red se plantea instalar fibra óptica de 2 hilos ITU-T G.657.A, desde las mangas de distribución con *splitter* secundario 1:16, hasta el ONT que se encuentra en las inmediaciones de los abonados.



2.2.6.6.1 Acometidas abonados

Para realizar las acometidas hacia los abonados se deberá tomar en consideración varios aspectos con el fin de obtener una red ordenada facilitando su administración, los mismos que se indican a continuación:

- Se deberá geo-referenciar al abonado y en base a su ubicación, identificar a que manga es factible asociarlo de acuerdo al área efectiva de cobertura que posea la manga de distribución.
- Para realizar las fusiones de los hilos del *splitter* 1:16 ubicados en la manga de distribución, con el cable de fibra de 2 hilos que llegará hacia el abonado, se debe tomar en consideración la distribución del *splitter* 1:16 indicado en la sección **2.2.6.5**. Para el efecto se deberá hacer uso del *splitter* de forma ordenada, empezando por la utilización del hilo de color azul, luego el hilo de color naranja, luego el hilo de color verde, y así sucesivamente hasta ocupar por completo todo el primer grupo del *splitter*. Una vez saturado el mismo se utilizará el segundo grupo de hilos del *splitter* 1:16 bajo el orden mencionado anteriormente.
- Cada tubillo de fusión dentro de la caja de empalme debe contener una etiqueta en la cual conste el nombre del abonado, para de esta forma facilitar la identificación de los hilos dentro de la manga.
- Todos los cables de fibra óptica de 2 hilos que ingresen a la caja de empalme deben ser etiquetados con el nombre del abonado.
- Por cada poste utilizado se debe etiquetar todos los cables pertenecientes a la empresa. Si existieran varios cables que utilicen el mismo poste se deberá adosar todos los cables dentro de un mismo empaquetado.
- La distancia correspondiente a la última milla comprendida desde la manga de distribución hacia el hogar del abonado no deberá sobrepasar los 350 [m]. Se especifica esta metraje debido al cumplimiento de la normativa para el tendido de redes físicas emitida por la Agencia de

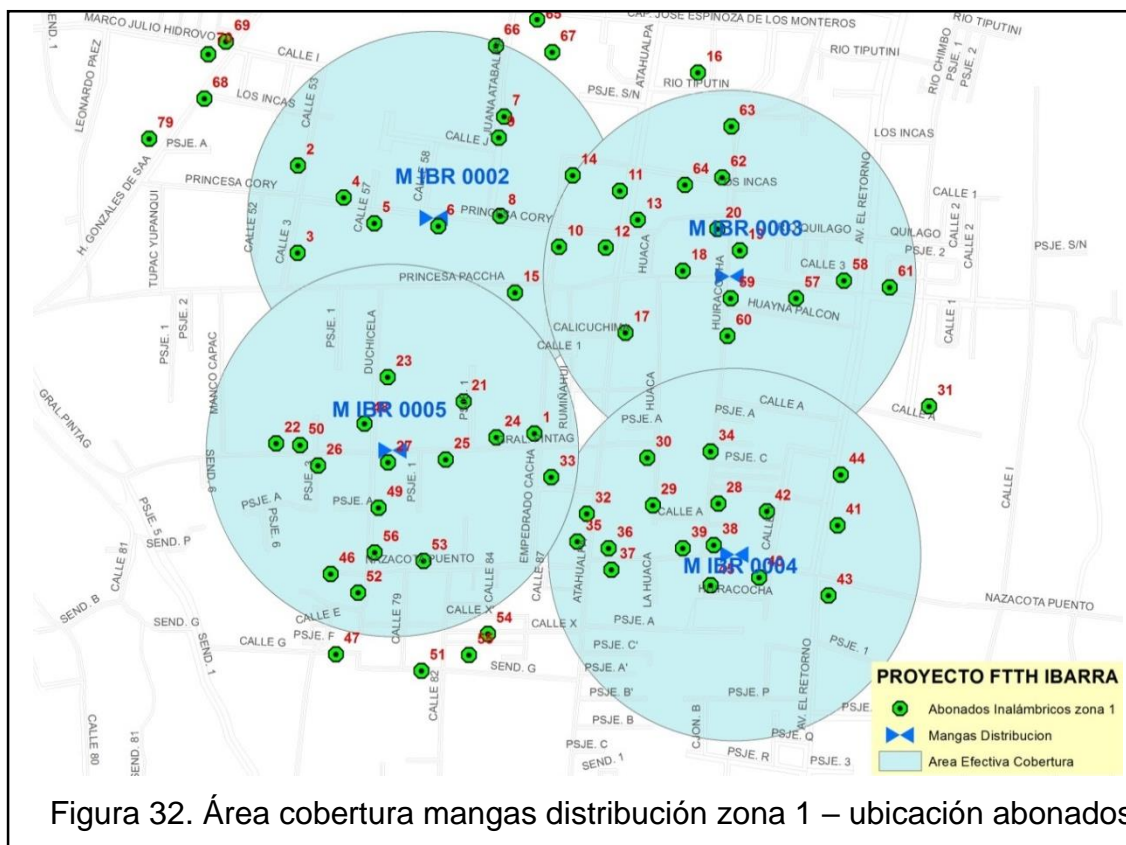
Regulación y Control de las Telecomunicaciones, la misma que se detalló en la sección 1.11 del capítulo I.

- Dentro de las inmediaciones de los abonados, en lugares donde el cable de fibra óptica cambie de dirección, se recomienda utilizar un radio de cobertura máximo de 15 [mm] para el cable de fibra, evitando de esta forma la “asfixia” de los hilos del cable.
- El cable de 2 hilos que ingresa a la caja multimedia deberá ser ajustado con amarras plásticas para evitar que la fibra se recorra y por efectos de tensión rompa la fusión con el *pigtail*.
- Una vez realizada la instalación del ONT se procederá a medir el nivel de potencia del enlace, el mismo que deberá tener un valor promedio entre -23 [dBm] y -26 [dBm], si el valor promedio de potencia indicado es menor se deberá verificar nuevamente la instalación ya que el problema posiblemente pueda estar situado en la última milla.

Una vez que se mostraron los parámetros mediante los cuales, se procedería a realizar las instalaciones de acometida hacia los abonados, se selecciona a la zona 1 de cobertura como el sitio en el cual se podría iniciar con la migración de tecnología para los abonados que actualmente poseen enlaces inalámbricos. Se elige esta zona debido a que en el sector Caranqui existe una cantidad considerable de abonados y su nodo inalámbrico poco a poco se está saturando por el incremento de suscriptores.

En la Figura 32, se observa la ubicación de los abonados con tecnología inalámbrica ubicados dentro de la zona 1 de cobertura. De igual forma se evidencia el área efectiva de cobertura de las 4 mangas de distribución.

Por motivos de confidencialidad no se puede mostrar el nombre de los abonados, pero para poder identificarlos se les asignará un número distintivo.



En la siguiente tabla se muestra las mangas de distribución y el número de abonados que se podrían asociar a las mangas, tomando en consideración el área efectiva de cobertura de cada manga.

Tabla. 11 Número abonados por manga de distribución zona 1.

MANGA	NÚMERO ABONADOS
M IBR 0002	13
M IBR 0003	14
M IBR 0004	16
M IBR 0005	16

En la Figura 33, se muestra la red de acceso que se contemplaría instalar para realizar la migración de tecnología a los abonados que se sitúan dentro del área efectiva de cobertura de la manga M IBR 0002.

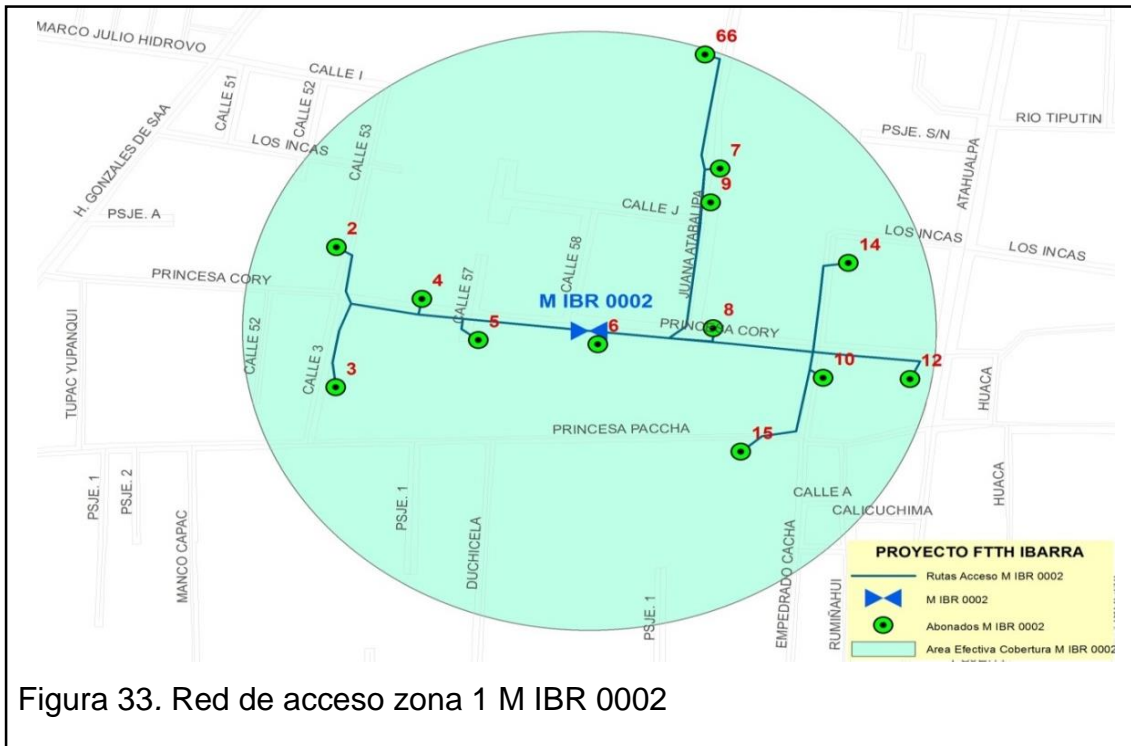


Figura 33. Red de acceso zona 1 M IBR 0002

En la Figura 34, se muestra la red de acceso que se contemplaría instalar para realizar la migración de tecnología a los abonados que se sitúan dentro del área efectiva de cobertura de la manga M IBR 0003.

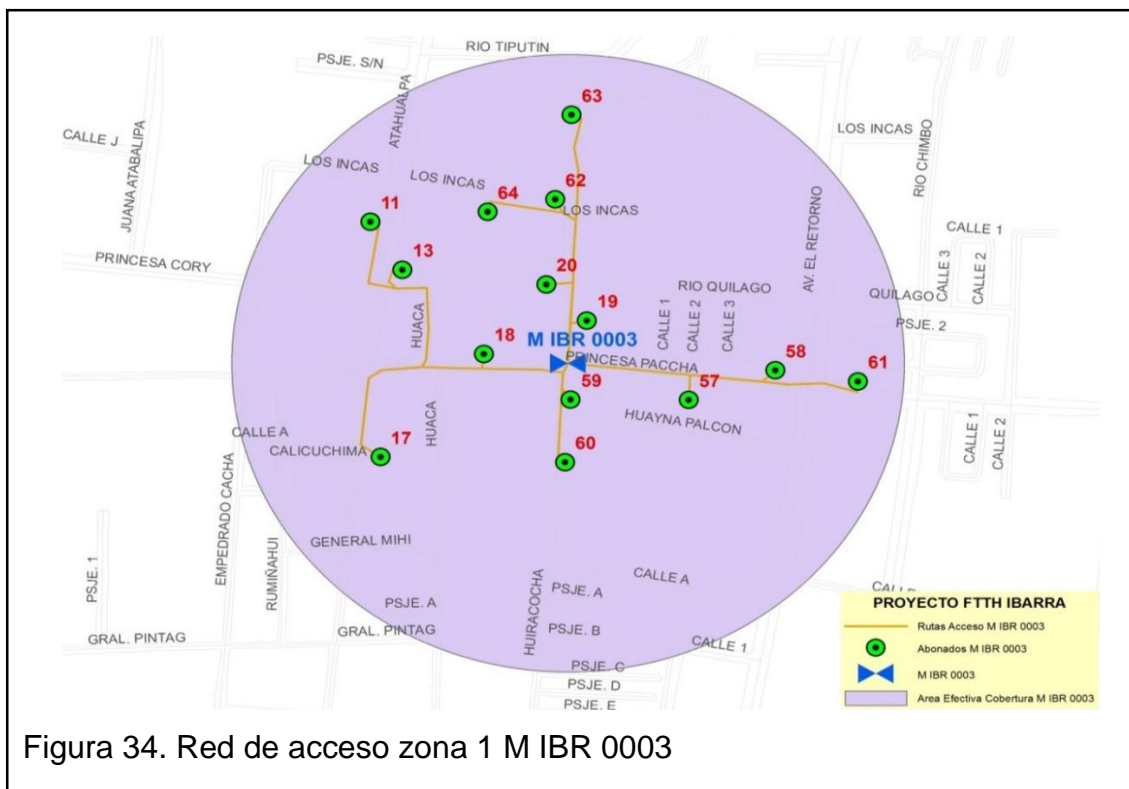


Figura 34. Red de acceso zona 1 M IBR 0003

En la Figura 35, se muestra la red de acceso que se contemplaría instalar para realizar la migración de tecnología a los abonados que se sitúan dentro del área efectiva de cobertura de la manga M IBR 0004.

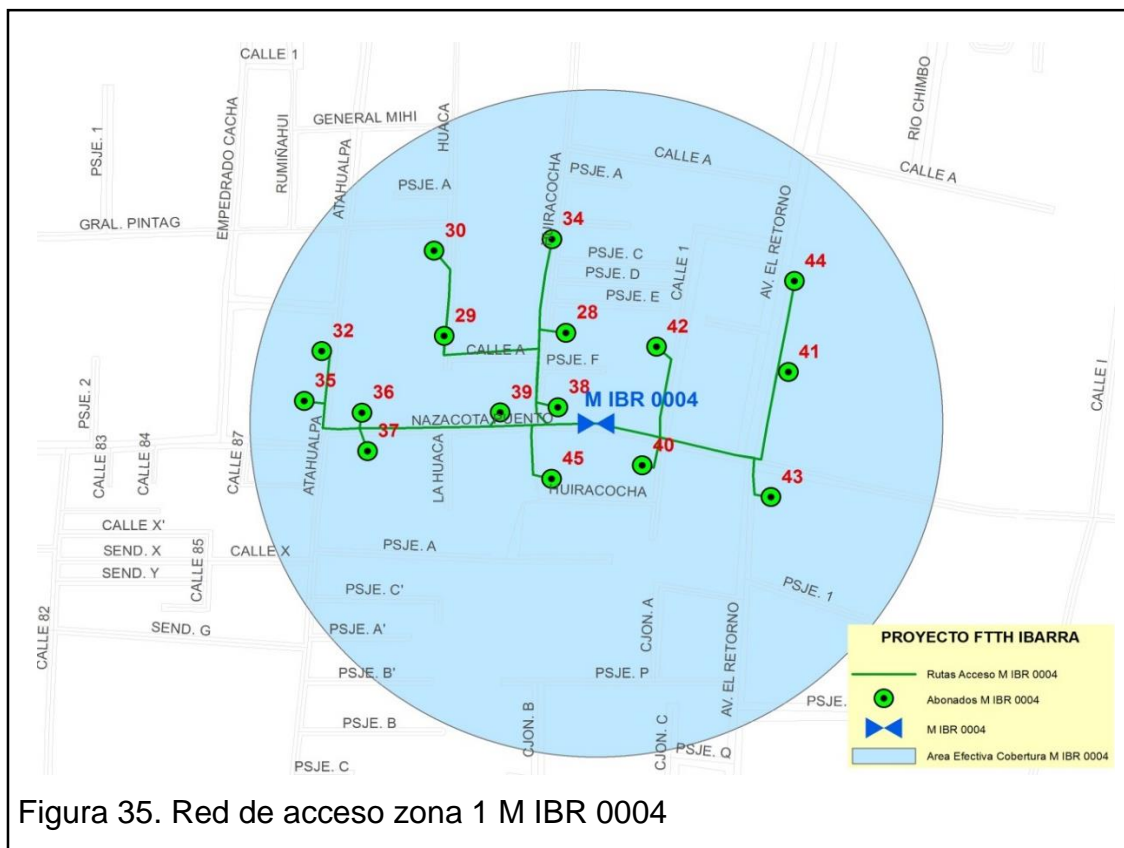


Figura 35. Red de acceso zona 1 M IBR 0004

En la Figura 36, se muestra la red de acceso que se contemplaría instalar para realizar la migración de tecnología a los abonados que se sitúan dentro del área efectiva de cobertura de la manga M IBR 0005.

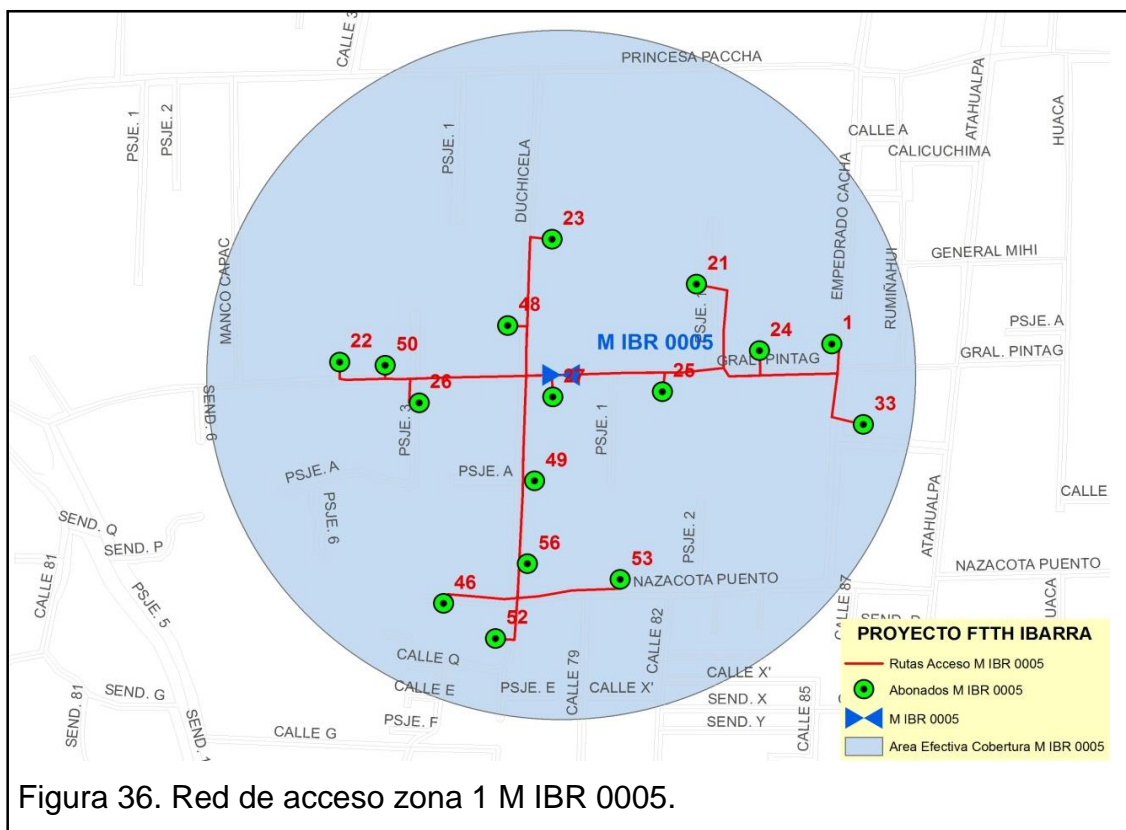


Figura 36. Red de acceso zona 1 M IBR 0005.

Es importante indicar que, si existieran posibles abonados que no se encuentren dentro del área efectiva de cobertura de la manga y requieren el servicio de internet, se analice la cantidad de potenciales abonados que se encuentren en un determinado sector que deberán ser mínimo 8, para de esta forma al menos ocupar el 50% de la capacidad de la manga de distribución.

Con las rutas determinadas para cada abonado se debe proceder a realizar el cálculo de su respectivo presupuesto óptico para cada enlace, para de esta forma poder determinar si es factible o no realizar los mismos.

2.2.7 Cálculos del enlace

Para determinar las pérdidas que se producen al establecer un enlace óptico se debe tomar en consideración todos los elementos que forman parte de la red óptica y que producen atenuaciones, que para este caso serían los siguientes: cables, conectores, empalmes por fusión, *splitters*.

- Para el caso de las pérdidas producidas por los cables de fibra óptica, en el proyecto planteado se utiliza la recomendación ITU-T G.652D para las redes troncales y de distribución, y para las redes de acceso se utiliza la recomendación ITU-T G.657.A. La pérdida por inserción introducida por el cable depende de la ventana de operación que se esté utilizando. Para la red FTTH GPON se utilizará la ventana de operación de 1490 [nm] para el canal *downstream* y la ventana de operación de 1310 [nm] para el canal *upstream*, estas ventanas producen valores de pérdida de 0,3 [dB/Km] y 0,4 [dB/Km] respectivamente.
- Las pérdidas producidas por los *splitters* se basan en el tipo de *splitter* utilizado, las mismas que ya fueron detalladas en la Tabla 3 de la sección 2.2.4.2. Para el diseño de la red se utilizarán *splitters* 1:4 y *splitters* 1:16 que producen pérdidas de 7,2 [dB] y 11 [dB] respectivamente.
- Las pérdidas producidas por conectores según la recomendación ITU-T G.671 generalmente son de 0.5 [dB]. Acorde al diseño planteado se utilizarán 4 conectores, 1 a la salida de la OLT, 1 en el ODF, 1 caja multimedia del cliente, 1 en el ONT del cliente.
- Las pérdidas producidas por un empalme de fusión tiene un valor aproximado de 1 [dB], en este diseño teóricamente existirían 3 empalmes de fusión. El primer empalme se lo realiza en el *splitter* primario 1:4 de la manga troncal, el segundo empalme se lo realiza en el *splitter* secundario 1:16 de la manga de distribución, y el tercer empalme se lo realiza en la caja multimedia del abonado o en el ONT directamente dependiendo del modelo utilizado. Tomando en consideración el peor escenario para el cálculo del presupuesto óptico se indicarán 6 fusiones teóricas.

2.2.7.1 Presupuesto de potencia óptica

En el presupuesto de pérdida óptica se tiene en consideración las tolerancias del sistema, por lo tanto es muy importante cumplir con estas características para poder realizar una transmisión con la menor tasa de error posible. Generalmente se considera la realización de pruebas de los enlaces de fibra óptica en sentido bidireccional, sentido *downstream* y *upstream* del enlace.

Para el cálculo del presupuesto óptico se tomará en cuenta la red de acceso planteada para la zona 1 de cobertura, y se determinará dos escenarios en los cuales se procederán a realizar los respectivos cálculos:

- **Escenario 1:** comprenderá el enlace más distante respecto a la manga de distribución por cada área efectiva de cobertura de la zona 1.
- **Escenario 2:** comprenderá el enlace más cercano respecto a la manga de distribución por cada área efectiva de cobertura de la zona 1.

Se realizará el análisis de pérdidas en sentido *upstream* y *downstream* de cada uno de los enlaces bajo los escenarios mencionados. El cálculo del presupuesto óptico se lo obtendrá mediante la suma de todas las atenuaciones que sufren los enlaces desde que parten de la OLT hasta llegar al ONT.

Atenuación total enlace = Atenuación total de conectores [dB] + atenuación total por fusiones [dB] + atenuación total de splitters [dB] + atenuación total de ventana de transmisión [dB/Km].

Escenario 1.

En este escenario se contempla el cálculo del presupuesto óptico para el enlace que se encuentra más distante respecto a la manga de distribución M IBR 0002. Como se indicó anteriormente se procederá a realizar los cálculos en el sentido *upstream* y *downstream* del enlace.

Tabla 12. Cálculo del presupuesto óptico canal *upstream* escenario 1.

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm	4.4	0.4	1.76
	1490nm		0.3	
	1550nm		0.25	
				25.56

Tabla 13. Cálculo del presupuesto óptico canal *downstream* escenario1.

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm		0.4	
	1490nm	4.4	0.3	1.32
	1550nm		0.25	
				25.12

Escenario 2.

En este escenario se contempla el cálculo del presupuesto óptico para el enlace que se encuentra más cercano respecto a la manga de distribución M IBR 0002. Como se indicó anteriormente se procederá a realizar los cálculos en el sentido *upstream* y *downstream* del enlace.

Tabla 14. Cálculo del presupuesto óptico canal *upstream* escenario 2.

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm	4.08	0.4	1.63
	1490nm		0.3	
	1550nm		0.25	
				25.43

Tabla 15. Cálculo del presupuesto óptico canal *downstream* escenario 2.

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm		0.4	
	1490nm	4.08	0.3	1.22
	1550nm		0.25	
				25.02

De los resultados obtenidos podemos evidenciar que la potencia de los enlaces se encuentra dentro del rango de potencia indicado en la sección **2.2.6.6.1**; entre -23 y -26 [dBm] por lo cual son factibles para su realización.

En el anexo B se detalla el cálculo del presupuesto de potencia óptica para las mangas de distribución M IBR 0003, M IBR 0004, M IBR 0005, bajo los mismos parámetros indicados en esta sección.

Es muy importante indicar que los equipos seleccionados OLT y ONT deberán ser capaces de soportar un margen de sensibilidad, ajustados a los valores obtenidos de los cálculos del presupuesto óptico tanto en sentido *upstream* como *downstream*.

La norma ITU-T G.984.2 Enmienda 1 establece los valores máximos y mínimos de sensibilidad de recepción, los cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 16. Niveles de Potencia Óptica ITU-T G.984.2

ITU-T G.984.2 Enmienda 1 Niveles de Potencia Óptica	
ÍTEMS	VALORES
Velocidad Transmisión	2,4 [Gbps] <i>down</i> - 1,2 [Gbps] <i>up</i>
Longitud de onda	1490 [nm] - 1310 [nm]
Distancia de Tx.	20 [Km]
Máxima Sensibilidad de recepción	-28 [dBm]
Mínima sensibilidad de recepción	-8 [dBm]
Potencia Tx.	5 [dBm]

Adaptado de (International Telecommunication Union, s.f.)

2.2.8 Balance de potencia equipo seleccionado

El balance de potencia nos permite determinar si los equipos van a soportar la señal que se transmite a través del sistema. Además podemos conocer si con la potencia emitida por la fuente, la sensibilidad del receptor y la atenuación total de la señal producida en todo el enlace, se cubre la distancia del mismo. Para el efecto la potencia media que se establezca en el receptor debe ser

como mínimo la sensibilidad de este. Tomado de (Universidad Politecnica de Madrid, s.f.)

El cálculo del balance de potencia estará determinado por la siguiente inecuación.

$$P_{Rx} \leq P_{Tx} - \alpha_{TOTAL}$$

Dónde:

P_{Rx} = Máxima sensibilidad de recepción del equipo

P_{Tx} = Máxima potencia del transmisor óptico.

α_{TOTAL} = Pérdidas totales del enlace.

Con los resultado de los presupuestos ópticos obtenidos de las Tablas 12, 13, 14, y 15, y con los niveles de potencia óptica indicados en la Tabla 16, se procede a realizar los cálculos:

Escenario 1

Sentido *upstream*.

$$P_{Rx} \leq P_{Tx} - \alpha_{TOTAL}$$

$$-28 \text{ [dBm]} \leq 5 \text{ [dBm]} - 25.56 \text{ [dB]}$$

$$-28 \text{ [dBm]} \leq - 20,56 \text{ [dBm]}$$

Sentido *downstream*.

$$P_{Rx} \leq P_{Tx} - \alpha_{TOTAL}$$

$$-28 \text{ [dBm]} \leq 5 \text{ [dBm]} - 25,12 \text{ [dB]}$$

$$-28 \text{ [dBm]} \leq - 20,12 \text{ [dBm]}$$

Escenario 2

Sentido *upstream*.

$$P_{Rx} \leq P_{Tx} - \alpha_{TOTAL}$$

$$-28 \text{ [dBm]} \leq 5 \text{ [dBm]} - 25.43 \text{ [dB]}$$

$$-28 \text{ [dBm]} \leq - 20.43 \text{ [dBm]}$$

Sentido *downstream*.

$$P_{Rx} \leq P_{Tx} - \alpha_{TOTAL}$$

$$-28 \text{ [dBm]} \leq 5 \text{ [dBm]} - 25.02 \text{ [dB]}$$

$$-28 \text{ [dBm]} \leq -20.02 \text{ [dBm]}$$

Con los resultados obtenidos del balance de potencia bajo los dos escenarios expuestos se puede evidenciar en primer lugar que, ningún valor sobrepasa la inecuación planteada. En segundo lugar los valores de sensibilidad obtenidos de los equipos seleccionados están acordes con los rangos de sensibilidad indicados en la Tabla 16. Por lo tanto el sistema planteado para el presente diseño es factible realizarlo.

2.2.9 Capacidad de la red

La capacidad de la red se ve determinada en función al número de abonados a los cuales se brindará el servicio de internet. Para este proyecto se toma el número de abonados que posee la empresa con tecnología inalámbrica que es alrededor de 700. La empresa ofrece un ancho de banda mínimo de 3 [Mbps] para clientes con fibra óptica con un nivel de compartición 2:1. En base a lo expuesto la capacidad inicial que requeriría la red en el caso de que se migren la totalidad de abonados a fibra óptica sería la siguiente:

$$\text{Capacidad} = (700 * 3 \text{ Mbps}) / 2 = 1050 \text{ [Mbps]}.$$

3. Análisis Económico

El análisis económico a mostrarse se realiza en base al diseño de la red FTTH con tecnología GPON descrita en el capítulo II. Este análisis permitirá conocer la inversión económica necesaria para la realización del proyecto. A través del uso de indicadores económicos se determinará si el proyecto es viable o no en su realización.

Se había indicado que existen en la sucursal de Ibarra, alrededor de 700 abonados con tecnología inalámbrica, se plantea para el inicio del proyecto migrar a fibra óptica al menos el 50% de la totalidad de abonados, y en base a este porcentaje se dimensionará el presupuesto de gastos.

Es importante indicar que los planes que ofrece la empresa van desde 3 [Mbps] hasta 30 [Mbps]. Se tomará al plan de 3 [Mbps] como valor promedio de contratación de servicio, debido a que es el plan que generalmente tiene más acogida por parte de los abonados al momento de contratar el servicio de internet.

3.1 Presupuesto de gastos

Al mencionar un presupuesto de gastos hacemos referencia a la totalidad de gastos o egresos que se deben realizar antes de implementar un proyecto. En base al diseño de red mostrado en el capítulo II, se realizará un presupuesto de gastos de acuerdo a la cantidad de suministros, materiales y equipos, que serían necesarios para el despliegue de la redes troncales y redes de distribución de fibra óptica, con el objetivo de cubrir las 10 zonas de cobertura descritas para la ciudad de Ibarra.

Se detallarán los gastos de acuerdo a su naturaleza, tomando en consideración los equipos y componentes que se necesitan para desplegar esta infraestructura.

3.1.1 Costos implementación y equipos

En la siguiente tabla se indica los costos que genera desplegar la red FTTH propuesta con tecnología GPON en la ciudad de Ibarra al iniciar el proyecto. Se considera para el montaje de la infraestructura en planta externa, el uso de: un herraje, dos tensores, cuatro amarras, dos etiquetas, por cada poste utilizado.

Tabla 17. Costos de materiales y equipos

DETALLE	CANTIDAD [m]	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
FIBRA OPTICA 24 HILOS	1700	\$ 0,92	\$ 1.564,00
FIBRA OPTICA 12 HILOS	36050	\$ 0,70	\$ 25.235,00
BANDEJA PARA MANGA FOSC 350	84	\$ 15,00	\$ 1.260,00
MANGA FOSC 350	84	\$ 135,00	\$ 11.340,00
SPLITTER OPTICO 1:4	17	\$ 18,00	\$ 306,00
SPLITTER OPTICO 1:16	67	\$ 36,00	\$ 2.412,00
HERRAJE TIPO C	1122	\$ 3,60	\$ 4.039,20
PINZA TENSOR	2244	\$ 0,95	\$ 2.131,80
AMARRAS	4488	\$ 0,04	\$ 179,52
ETIQUETAS ACRILICAS	2244	\$ 0,85	\$ 1.907,40
SFPs GPON B+	8	\$ 454,06	\$ 3.632,48
ODF 48 PUERTOS	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
OLT CALIX ET-2 SHELF	1	\$ 632,53	\$ 632,53
TARJETA CALIX E7-2 GPON -8	1	\$ 6.546,18	\$ 6.546,18
ROUTER BOARD MIKROTIK CCR 1036-12G-4S	1	\$ 950,00	\$ 950,00
FUENTE DE PODER MEANWELL Se-600-48 V dc 12.5 A CONMUTADA	1	\$ 300,00	\$ 300,00
OTROS		\$ 100,00	\$ 100,00
		SUBTOTAL	\$ 63.181,11
		IVA 14%	\$ 8.845,35
		TOTAL	\$ 72.026,47

El tiempo estimado que tomaría implantar la red troncal, la red de distribución, cajas de empalme, y *splitters* en las zonas de cobertura del diseño propuesto, contemplaría un tiempo aproximado de 30 días, es decir 1 mes, con la utilización de 4 técnicos de planta externa, bajo el siguiente orden:

Tabla 18. Tiempo estimado de instalación red troncal y distribución FTTH.

DETALLE	CANTIDAD [m]	PERSONAL	DÍAS
INSTALACIÓN FIBRA TRONCAL	1700	4	1
INSTALACIÓN FIBRA DISTRIBUCION	36050	4	12
INSTALACIÓN MANGAS TRONCALES CON SPLITTER 1:4	17	4	4
INSTALACIÓN MANGAS DISTIRUBUCION CON SPLITTER 1:16	67	4	8
INSTALACIÓN CONFIGURACIÓN EQUIPOS		1	2
ACTIVACIÓN HILOS		4	3
			30

3.1.2 Gastos administrativos

El gasto administrativo más importante a tomar en cuenta, hace referencia a la contratación de personal para desplegar la red. Como se indicó anteriormente se empleará una cuadrilla comprendida por 4 técnicos de planta externa. Teniendo en consideración lo indicado, en la siguiente tabla se definen los gastos a efectuarse en torno a salarios y movilización de dicho personal.

Tabla 19. Gastos mano de obra y movilización.

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	MESES IMPLEMENTACIÓN	VALOR TOTAL
Salario personal técnico	4	\$ 600,00	1	\$ 2.400,00
Costo por movilización vehículo	2	\$ 800,00	1	\$ 1.600,00
				\$ 4.000,00

3.1.3 Gastos de ventas

Son los gastos realizados por motivo de la comercialización adecuada del servicio de internet ofrecido, con el fin de captar abonados, en las zonas donde se plantea desplegar la nueva red de fibra óptica. Tomando en cuenta los gastos por publicidad, sueldos, comisiones del personal de ventas, logística, etc.

Tabla 20. Gastos ventas.

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Salario personal ventas	4	\$ 450,00	\$ 1.800,00
Costo por publicidad	-	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
			\$ 3.800,00

3.1.4 Costos arrendamiento postes

PUNTONET S.A, mantiene un contrato vigente con la Empresa Eléctrica del Norte EMELNORTE S.A, por la utilización de postes en la ciudad de Ibarra. Con el diseño de red planteado la cantidad de nuevos postes que se necesitarían utilizar sería de 1122, con un costo por cada poste utilizado de \$ 9 dólares. El trámite administrativo que se debe realizar con el administrador y fiscalizador del contrato contemplaría realizar una adenda al contrato vigente especificando una actualización en la cantidad de postes utilizados.

No se considera el coste de los postes para la red de acceso, ya que este valor se encuentra compensado con el cobro de la mensualidad que cada uno de los abonados cancela a la empresa por el servicio de internet.

Tabla 21. Valor por arrendamiento de postes

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Arrendamiento de Postes EMELNORTE	1122	\$ 9,00	\$ 10.098,00
		SUBTOTAL	\$ 10.098,00
		IVA 14%	\$ 1.413,72
		TOTAL	\$ 11.511,72

3.1.5 Costos por migración de clientes

Como se indicó anteriormente se plantea realizar la migración a fibra óptica de al menos el 50% de abonados de la sucursal Ibarra al inicio del proyecto. Se considera la migración de 60 abonados mensualmente, es decir en un periodo de 6 meses el porcentaje de abonados indicado debería contar con enlaces de fibra óptica en sus hogares.

Por tratarse de una migración de tecnología, no se cobrará al abonado un costo por la instalación del enlace, ya que lo que se pretende realizar es mejorar el servicio ofrecido y eliminar los problemas de última milla que presentan los enlaces con tecnología inalámbrica.

De acuerdo a lo expuesto se debe considerar el costo de los equipos y materiales que se deben colocar dentro de las inmediaciones de los abonados, sin tomar en cuenta el router inalámbrico debido a que los abonados ya poseen estos equipos.

Tabla 22. Costos por migración de usuarios.

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ONT CALIX T071G	350	\$ 71,39	\$ 24.986,50
PIGTAIL SINGLE MODE SC	350	\$ 25,00	\$ 8.750,00
SUBTOTAL			\$ 33.736,50
IVA 14%			\$ 4.723,11
TOTAL			\$ 38.459,61

3.1.6 Costos de operación

PUNTONET S.A por ser una empresa portadora de servicios de telecomunicaciones tiene la obligación de registrar sus redes físicas de acceso y de transporte ante la ARCOTEL. Dicho registro se lo realiza máximo hasta el décimo quinto día de cada mes. Por la modificación o ampliación de las de las redes de transporte se debe cancelar un valor de \$200 una sola vez, sin importar la cantidad de fibra óptica o el número de nodos instalados, mientras que por el registro de las redes de acceso (acometidas) no se cancela ningún valor.

Si la empresa desearía encaminar el proyecto planteado deberá asumir un costo de inversión inicial de \$ 129.997,80 dólares americanos. El desglose de este valor se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 23. Costos inversión inicial.

DETALLE	VALOR TOTAL
Costos equipos y materiales	\$ 72.026,47
Gastos administrativos	\$ 4.000,00
Gastos de ventas	\$ 3.800,00
Costos arrendamiento de postes	\$ 11.511,72
Costos migración clientes	\$ 38.459,61
Costo operación	\$ 200,00
	\$ 129.997,80

3.2 Indicadores de evaluación económica

La evaluación económica de un proyecto tiene como objetivo identificar las ventajas y desventajas que trae consigo realizar una inversión económica en un proyecto determinado. A través de aquello se podrán tomar la mejor decisión antes de decidir inyectar capital a un proyecto determinado.

Para este proyecto se tomará en consideración a la TMAR (tasa mínima atractiva de retorno), al VAN (valor actual neto), a la TIR (tasa interna de retorno), y al PRI (periodo de recuperación de la inversión), como los indicadores que nos permitirán conocer si el proyecto es viable para su realización.

3.2.1 TMAR

La tasa mínima atractiva de retorno es conocida también como costo de capital o tasa de descuento. Para la realización de cualquier tipo de proyecto se debe realizar una inversión inicial, dicha inversión puede realizarse a través de diferentes fuentes como por ejemplo dinero invertido por accionistas, o por un préstamo bancario. Al realizar una inversión una persona o empresa siempre va a tener en mente obtener una tasa mínima de ganancia respecto al capital invertido, a esta tasa se la denomina tasa mínima atractiva de retorno TMAR. (Navarro, 2014)

El cálculo de la TMAR se lo define bajo la siguiente ecuación:

$$TMAR = \textit{tasa de inflación} + \textit{premio al riesgo}$$

Para este proyecto los valores de inflación y de premio al riesgo son los siguientes:

Inflación: 2,32%. Tomado de (CEDATOS, s.f.).

Premio al riesgo: 11,02% Tomado de (CEDATOS, s.f.).

Obteniendo como resultado una TMAR de: 13,34%

El valor de la TMAR obtenido será utilizado en los cálculos del VAN y TIR que se detallarán más adelante.

3.2.2 VAN

El valor actual neto es un método que es utilizado para valorar distintas opciones de inversión, el mismo que consiste en actualizar los valores de ingresos y egresos de un proyecto o inversión y calcular su diferencia. Con este indicador de evaluación económica, podremos generar dos tipos de decisiones; la primera nos permitirá conocer si las inversiones son favorables para su realización y la segunda determinar qué inversión es mejor que otra en términos absolutos. (Morales, V., s.f.)

Para determinar lo indicado, los criterios de decisión a tomar en cuenta serán los siguientes:

- Si el VAN > 0: nos indica que el proyecto generará beneficios, es decir será rentable.
- Si el VAN = 0: nos indica que el proyecto no generará pérdidas ni ganancias.

- Si el VAN < 0: nos indica que el proyecto generara pérdidas, por lo cual no se debe efectuar.

El cálculo del VAN se lo puede realizar a través de la siguiente ecuación.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+k)^t} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

I_0 = monto de la inversión inicial.

Ft = Flujo de dinero por periodo de tiempo.

n = número de periodos de tiempo.

k = tipo interés propuesto para la inversión.

El valor actual neto VAN, es un método bastante utilizado al momento de evaluar proyectos que impliquen realizar una inversión, debido a que es fácil calcularlo y además nos brinda una predicción aproximada a la realidad sobre los efectos que ocasiona realizar una inversión. (Morales, V., s.f.)

3.2.3 TIR

La tasa interna de retorno TIR, es el segundo criterio más utilizado para la evaluación de proyectos de inversión después del VAN. De manera simple se puede definir a este indicador económico, como el valor de la tasa de descuento que en un proyecto de inversión hace que el VAN se anule, es decir que sea igual a cero. Tomando en consideración el valor del dinero a través del tiempo, basándose en la utilización de flujos de efectivos descontados. (Morales, V., s.f.)

Los criterios de selección de proyectos según la tasa interna de retorno TIR, se determinan teniendo en consideración la Ecuación 2 calculo VAN, donde k es la tasa de descuento propuesta para la inversión para el cálculo del VAN.

- Si $TIR > k$: la inversión que se efectuará para el proyecto es aceptable.
- Si $TIR = 0$: el proyecto no generará ni pérdidas ni ganancias.
- Si $TIR < k$: el proyecto debe ser rechazado, ya que no existe rentabilidad.

La tasa interna de retorno TIR es una herramienta muy útil para la evaluación de proyectos de inversión, junto con el VAN proporcionan valores que nos ayudan a tomar la decisión de invertir o no en un proyecto determinado. (Morales, V., s.f.)

3.3 Cálculo VAN y TIR

Para el cálculo de estos dos indicadores económicos se utilizará las formulas VNA y TIR que proporciona el programa Microsoft Excel 2013, tomando en consideración los siguientes parámetros:

- Se toma en cuenta un escenario con un periodo de tiempo útil para el proyecto de 5 años, con un índice de crecimiento del 10% en la cartera de abonados, tomando como referencia el número de suscriptores totales que tiene en la actualidad la empresa.
- El tipo de interés propuesto para el proyecto será el obtenido de la TMAR que es de 13,34%.
- Con relación a los ingresos que percibiría la empresa por el servicio ofrecido, se toma en consideración que los usuarios finales toman como promedio el plan más básico que se oferta, el mismo que es de 3 [Mbps], a un costo de \$ 30 dólares americanos más impuestos por cada abonado. Se debe mencionar que este último valor no representa un ingreso total para la empresa, ya que del mismo se destina un porcentaje para el pago de obligaciones a proveedores, salarios, etc. Por lo que se asumirá que el porcentaje de ingreso neto mensual será de un 30% del valor indicado.

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del VAN y TIR en base a los parámetros expuestos anteriormente.

Tabla 24. Cálculo VAN TIR

INVERSIÓN INICIAL	\$ (129.997,80)	
Flujo de efectivo Año 1	\$ 51.710,40	
Flujo de efectivo Año 2	\$ 60.328,80	
Flujo de efectivo Año 3	\$ 68.947,20	
Flujo de efectivo Año 4	\$ 77.565,60	
Flujo de efectivo Año 5	\$ 86.184,00	
TMAR		13.34%
VAN		\$ 103.028.70
TIR		40%

De lo indicado en la Tabla 22 se concluye que:

- El VAN es > 0 , por lo cual se considera que el proyecto es realizable, considerándose como una inversión segura, y se podría invertir capital en el mismo.
- El TIR es mayor que la tasa de descuento, por lo cual se considera que el proyecto es viable, es decir generará una rentabilidad del 40% respecto a la inversión inicial.

3.4 Periodo de recuperación de la inversión

El PRI es un indicador financiero que nos muestra la cantidad de años que se requieren para que los flujos de efectivo realizados a causa de invertir en un proyecto, recuperen su costo. El criterio a manejarse con este indicador radica en seleccionar al proyecto que cuente con el menor tiempo de recuperación del capital invertido, cuanto más corto sea este periodo de tiempo será mucho mejor.

En la siguiente tabla se muestra el flujo de efectivo por cada año que recibiría la empresa por ofrecer el servicio de internet. Tomando en cuenta estos resultados se procederá con el cálculo de recuperación de la inversión.

Tabla 25. Flujo efectivo por años.

AÑO	FLUJOS EFECTIVO
0	\$ (129.997,80)
1	\$ 51.710,40
2	\$ 60.328,80
3	\$ 68.947,20
4	\$ 77.565,60
5	\$ 86.184,00

Para realizar el cálculo del periodo de recuperación de la inversión PRI, se sumará el valor del flujo de efectivo del año 1 con el valor del flujo de efectivo negativo del año 0, el valor resultante corresponderá al valor acumulado en el primer año. Este valor se sumará con el valor de flujo de efectivo del año 2, y el valor resultante se sumará con el valor de flujo de efectivo con el año 3 y así sucesivamente.

En base a lo expuesto en el párrafo anterior, se procede a realizar el cálculo del periodo de recuperación de la inversión PRI de la siguiente manera:

$$\text{Flujo Acumulado Año 1} = \text{Flujo efectivo Año 1} + \text{Flujo Efectivo Año 0}$$

$$\text{Flujo Acumulado Año 1} = 51.710,40 + - (129.997,80)$$

$$\text{Flujo Acumulado Año 1} = -78.287,40$$

$$\text{Flujo Acumulado Año 2} = \text{Flujo efectivo Año 2} + \text{Flujo Acumulado Año 1}$$

$$\text{Flujo Acumulado Año 2} = 60.328,80 + - (78.287,40)$$

$$\text{Flujo Acumulado Año 2} = -17.958,60$$

$$\text{Flujo Acumulado Año 3} = \text{Flujo efectivo Año 3} + \text{Flujo Acumulado Año 2}$$

$$\text{Flujo Acumulado Año 3} = 68.947,20 + - (17.958,60)$$

$$\text{Flujo Acumulado Año 3} = 50.988,60$$

$$\text{Flujo Acumulado Año 4} = \text{Flujo efectivo Año 4} + \text{Flujo Acumulado Año 3}$$

$$\text{Flujo Acumulado Año 4} = 77.565,60 + 50.988,60$$

$$\text{Flujo Acumulado Año 4} = 128.554,20$$

$$\begin{aligned}\text{Flujo Acumulado Año 5} &= \text{Flujo efectivo Año 5} + \text{Flujo Acumulado Año 4} \\ \text{Flujo Acumulado Año 5} &= 86.184,00 + 128.554,20 \\ \text{Flujo Acumulado Año 5} &= 214.738,20\end{aligned}$$

De los cálculos realizados interpretamos lo siguiente:

El número de años de recuperación de la inversión inicial radica en los valores negativos resultantes, en este caso el flujo acumulado del año 1 y del año 2. Es decir en total 2 años.

Para conocer el número de meses, se toma como referencia el último valor del flujo acumulado negativo (año 2), y se lo divide para el flujo acumulado del siguiente año (año 3), y el resultado lo multiplicamos por 12, que corresponde al número de meses que posee un año, lo cual se indica a continuación:

$$\begin{aligned}\text{Número Meses} &= \text{ultimo flujo acumulado negativo} / \text{flujo acumulado siguiente} \\ \text{Número Meses} &= -17.958,60 / 50.988,60 \\ \text{Número Meses} &= 4,2 \cong 4\end{aligned}$$

De los cálculos realizados se determina que el periodo de recuperación de la inversión se lo alcanzará en 2 años 4 meses.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los cálculos realizados.

Tabla 26. Periodo de recuperación de la inversión.

AÑO	FLUJOS EFECTIVO	FLUJOS ACUMULADOS	PRI
0	\$ -129.997,80	-	2 AÑOS 4 MESES
1	\$ 51.710,40	\$ -78.287,40	
2	\$ 60.328,80	\$ -17.958,60	
3	\$ 68.947,20	\$ 50.988,60	
4	\$ 77.565,60	\$ 128.554,20	
5	\$ 86.184,00	\$ 214.738,20	

4. Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se describen las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron con la realización de este proyecto.

4.1 Conclusiones

En la actualidad la demanda por obtener un mayor ancho de banda por parte de los abonados es evidente, por lo cual se solicitan enlaces de telecomunicaciones que permitan soportar todo tipo de tráfico y que soporten las exigencias de capacidad y velocidad de transmisión para servicios convergentes sobre un mismo medio de transmisión. Existen varias tecnologías de acceso con medios de transmisión alámbricos e inalámbricos desarrollados para cubrir estas necesidades, pero la mayoría siempre presenta una limitación, ya sea por la distancia de cobertura o por la capacidad de transmisión de la información. Una red con tecnología GPON suple estas necesidades, entregando servicios de banda ancha sin la utilización de equipamiento activo entre la estación del operador y las inmediaciones de los abonados.

Al utilizar una red de acceso con tecnología GPON, se puede ofrecer mayores prestaciones a los abonados como: altas velocidades de transmisión, integridad en la información, reducción de los niveles de ruido, interferencia, pérdidas y atenuaciones, en comparación a un medio de transmisión inalámbrico. Con una tecnología estable se fija un camino para evitar cancelaciones de servicio, y obtener un mayor porcentaje de fidelidad por parte de los abonados.

Una red de acceso con tecnología GPON permite alcanzar una distancia hasta 20 [km] desde la oficina central hacia el abonado, a diferencia de la tecnología inalámbrica que utiliza PUNTONET en la actualidad, que contempla una distancia máxima de 1 [Km]. Además, GPON brinda una mayor flexibilidad al momento de diseñar una red, debido a que no toma en consideración

restricciones del tipo eléctrico que se presentan en otro tipo de redes como por ejemplo HFC, ya que no se incluyen elementos activos en la infraestructura de la ODN (*Optical Distribution Network*), permitiendo abaratar los costes en el despliegue de la misma.

Para la zona urbana de la ciudad de Ibarra, se plantea un diseño de una red de acceso FTTH con tecnología GPON, la misma que se convierte en una alternativa para solucionar los problemas de última milla que presentan los abonados con el uso de enlaces inalámbricos.

Para el diseño de la red de acceso FTTH con tecnología GPON, se determinó el uso de una topología tipo árbol, formando enlaces punto multipunto a través de la red, teniendo a la OLT como el equipo principal para la transmisión de la información.

Se decidió sectorizar a la ciudad de Ibarra en 10 zonas de cobertura, tomando en consideración los sectores donde la empresa actualmente tiene penetración de servicio. En estas zonas se plantea el despliegue de redes troncales, redes de distribución, y redes de acceso a través de fibra óptica, de forma aérea a través de los postes, con la utilización de divisores ópticos pasivos *splitters* distribuidos en cada zona de cobertura.

Se determinó la utilización de dos niveles jerárquicos de *splitteo*. El primer nivel de *splitteo* con *splitter* primario 1:4, y el segundo nivel de *splitteo* con *splitter* secundario 1:16. Bajo esta jerarquía se posibilita la asociación de hasta 64 abonados por cada puerto PON de la OLT sobre una misma fibra óptica. Es importante mencionar que la tarjeta seleccionada para la OLT tiene una capacidad de 8 puertos PON, lo que nos brindaría una capacidad total de 512 abonados asociados por cada tarjeta, al utilizar la totalidad de los puertos de la misma.

Para el despliegue de la red troncal y de distribución se seleccionó fibra óptica de tipo monomodo, debido a la gran capacidad que ofrece este tipo de fibras

para enlaces a larga distancia, bajo la recomendación ITU-T G.652.D. Por otro lado para la red de acceso se seleccionó fibra de tipo monomodo bajo la recomendación ITU-T G.657.A, debido a que presentan características de compatibilidad de transmisión con las fibras del tipo G.652.D, logrando una homogeneidad en la red física.

Con el propósito de brindar un servicio de calidad a los abonados y por el cumplimiento con la norma técnica para el tendido de redes físicas aéreas emitida por la ARCOTEL, se determinó un diseño para la red de acceso, donde cada manga de distribución posea un radio de cobertura de 350 [m] respecto a su ubicación. De esta forma la distancia para realizar la acometida a los abonados será relativamente corta, facilitando el mantenimiento de la red, correspondiente a los enlaces de última milla, y evitando sanciones por parte de los entes de control regulatorio.

Con los valores obtenidos del presupuesto de potencia óptica y el balance de potencia de los equipos, se determinó que ningún enlace sobrepasa los niveles de sensibilidad indicados según la recomendación ITU.T G.984.2 Enmienda 1, es decir el sistema se encuentra dimensionado correctamente.

De acuerdo al análisis económico realizado se determinó, que la inversión inicial para la realización del proyecto es alta, pero mediante los indicadores de evaluación económica detallados en la sección 3.3 del capítulo III, se puede evidenciar que el proyecto es factible para su realización y generará una rentabilidad, con un periodo de recuperación del capital invertido de 2 años con 4 meses.

4.2 Recomendaciones

Al momento de iniciar con la migración de abonados a fibra óptica, se recomienda seguir un orden ascendente, desde la zona 1 hasta la zona 10 de cobertura, dichas zonas se detallaron en la Figura 19 del capítulo II, de esta forma se logrará tener un crecimiento ordenado en la red, facilitando la administración de la misma, y lo más importante tener un inventario de los suministros, equipos y materiales que sean utilizados conforme se realicen las expansiones de cobertura.

La administración de la red troncal y de distribución de la red estará a cargo del personal del área de NOC (*Network Operation Center*) de la sucursal, mientras que para realizar las acometidas hacia los abonados, se recomienda contratar los servicios de una empresa externa, debido a que en la actualidad no se cuenta con la cantidad necesaria de personal técnico de planta externa en esta ciudad. Si se llegase a realizar lo indicado PUNTONET deberá capacitar en la parte técnica a las empresas que se les asigne esta labor.

Como una forma de incentivar a la fidelidad de los abonados bajo esta nueva tecnología, se recomienda incrementar el ancho de banda a los abonados por un periodo de tiempo, bajo el mismo coste, como una estrategia de mercado mientras esta nueva tecnología de acceso que ofrece la empresa toma fuerza en la ciudad de Ibarra.

Para futuros proyectos con tecnología GPON que PUNTONET desee implementar, se recomienda que la empresa adquiera un software simulador de redes, ya que en la actualidad no se cuenta con este tipo de herramientas para el diseño e inventario de las mismas, de esta forma se ahorraría tiempo, materiales, y recursos al momento de implementar redes con este tipo de tecnología.

Se recomienda realizar capacitaciones continuas al personal de planta externa en torno al cumplimiento de normas para la instalación de redes físicas, de esta

forma se evitará un crecimiento desordenado e inapropiado de la red, especialmente en las instalaciones de acometida hacia los abonados.

Es muy importante garantizar un servicio de calidad a los abonados teniendo una red disponible la mayor parte del tiempo, por lo cual es de suma importancia realizar mantenimientos constantes a la red, a nivel de rutas troncales, rutas de distribución, y rutas de acceso. Así mismo de las cajas de empalme, *splitters* troncales, y *splitters* de distribución.

Es preponderante cumplir con las especificaciones detalladas en la sección 1.14 del capítulo I, respecto a la norma técnica para el tendido de redes físicas emitida por la ARCOTEL, en todos los nuevos proyectos que implique tendido de cables, debido a que esta agencia se encuentra realizando inspecciones a nivel nacional, enfocándose en el tema de identificación de redes que se encuentran adheridas a los postes. Si un cable o grupo de cables no se encuentra identificado, esta entidad tiene la potestad de pedir el corte o retiro de las redes que se encuentren sin identificación, lo cual generaría un gran perjuicio para la empresa.

REFERENCIAS

- Arcgis. (s.f.). *Introducción a ArcGIS*. Recuperado el 31 de Marzo de 2016, de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- ARCOTEL. (s.f.). *Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha (Resolución No. Tel-560-18-CONATEL-2010)*. Recuperado el 13 de Junio de 2016, de Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/11/Norma+MDBA.pdf>
- ARCOTEL. (s.f.). *Norma técnica despliegue y tendido de redes físicas telecomunicaciones*. Recuperado el 18 de Junio de 2016, de Agencia Regulación y Control de las Telecomunicaciones: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2016/02/norma-tendido-de-redes-aereas.pdf>
- ARCOTEL. (s.f.). *Sistemas de Modulación Digital de Banda Ancha*. Recuperado el 16 de Junio de 2016, de Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones: <http://www.arcotel.gob.ec/sistemas-de-modulacion-digital-de-banda-ancha/>
- Brillant, A. (2008). *Digital and Analog Fiber Optic COMMUNICATIONS for CATV and FTTx Applications*. (J. W. SPIE, Ed.) Recuperado el 11 de Junio de 2016, de <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=UUQiPAIWpTMC&oi=fnd&pg=PR13&dq=FTTx&ots=qNTmM2mGOI&sig=wJ3zdQMWv4EXpTpcR0gUV3GngcU#v=onepage&q=FTTx&f=false>
- Calix. (2016). Calix E7-2 Sistema de acceso modular. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Calix. (2016). ONT Serie T071G. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Calix. (2016). Tarjeta GPON-8. Quito, Pichincha, Ecuador.

- Casademont, J. (2010). *Redes de Comunicaciones: de la telefonía móvil a Internet*. (E. UPC, Ed.) Recuperado el 10 de Junio de 2016, de https://books.google.com.ec/books?id=ONrOBAAAQBAJ&pg=PA38&dq=splitter+fttx&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=splitter%20fttx&f=false
- Castelli, M., Fosatti, JP., Camacho, M., Chakelson, C. (2009). *Características Generales de una red de fibra óptica al hogar (FTTH)*. Recuperado el 10 de Junio de 2016, de http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_179_CaracteristicasgeneralesredfibrapticaalhogarFTTH.-VVAA.pdf
- CEDATOS. (s.f.). *Principales Indicadores Económicos*. Recuperado el 10 de Junio de 2016, de CEDATOS: <http://www.cedatos.com.ec/>
- Córdova, M. (2003). *Procesos de fabricación de fibras ópticas*. Recuperado el 05 de Mayo de 2016, de http://184.168.109.199:8080/jspui/bitstream/123456789/303/2/34_cordoba.pdf
- España, M. (2005). *Comunicaciones Ópticas Conceptos esenciales y resolución de ejercicios*. Recuperado el 15 de Mayo de 2016, de <http://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479786854.pdf>
- FibreFab. (s.f.). *LC Conectores De Fibra Óptica*. Recuperado el 16 de Abril de 2016, de <http://www.fibrefab.es/products-es/conectores/lc-connectors/>
- Global Electric S.A. (s.f.). *Manga Lineal con Sello de Gel Reticulado Ref FOSC-350C-24-1*. Recuperado el 24 de Abril de 2016, de <http://globalelectric.com.ec/producto/manga-lineal-con-sello-de-gel-reticulado-fosc-350c/>
- Guevara, J. (2010). *Tecnología Technology*. Recuperado el 23 de Mayo de 2016, de http://www.tecnologia.technology/wp-content/uploads/2010/06/Definicion_caracteristicas_PON_APOn_BPON_GEPON_GPON_EPON.pdf
- Hayes, J. (s.f.). *FIBER OPTICS TECHNICIAN'S MANUAL*. Recuperado el 06 de Abril de 2016, de

<https://drive.google.com/a/udlanet.ec/folderview?id=0B0m5gqkcHt7w ekdlcURrUGgtRGs&usp=sharing#>

Hernández, L. (2005). *Comunicacion de Datos*. Recuperado el 8 de Junio de 2016, de

<http://www.itlalaguna.edu.mx/academico/carreras/electronica/COMUNICACION%20DE%20DATOS/Unidad%20VI/UNIDAD%20VI-5.pdf>

Instituto Tecnológico de Teléfonos de México SC. (s.f.). *Fundamentos de GPON*. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de <http://cursoslibres.academica.mx/236/tecnologia-gpon/GPON.swf>

International Telecommunication Union. (s.f.). *Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable for the access network*. Recuperado el 11 de Abril de 2016, de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.657-201210-l/es>

International Telecommunication Union. (s.f.). *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*. Recuperado el 31 de Marzo de 2016, de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-200911-l/es>

International Telecommunication Union. (s.f.). *G.984.2 Amendment 1: New Appendix III - Industry best practice for 2.488 Gbit/s downstream, 1.244 Gbit/s upstream GPON*. Recuperado el 25 de Junio de 2016, de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-200602-l!Amd1/es>

International Telecommunication Union. (s.f.). *Gigabit-Capable passive optical networks (GPON) : General Characteristics*. Recuperado el 17 de Mayo de 2016, de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/es>

International Telecommunication Union. (s.f.). *Handbook Optical fibres, cables and systems*. Recuperado el 09 de Mayo de 2016, de https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/hdb/T-HDB-OUT.10-2009-1-PDF-E.pdf

International Telecommunication Union. (s.f.). *Transmission characteristics of optical components and subsystems*. Recuperado el 03 de Junio de 2016, de International Telecommunication Union: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.671-201202-l/es>

Keiser, G. (2006). *FTTX Concepts and Applications*. (J. W. Sons, Ed.) Recuperado el 15 de Mayo de 2016, de

<https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=F9QVc-YfZk8C&oi=fnd&pg=PR7&dq=FTTx&ots=ZvTsN1rP8m&sig=BI7F044BoBbcadxAurB07mpDdzl#v=onepage&q&f=false>

Millan, J. (2008). *GPON (Gigabit Passive Optical Network)*. Recuperado el 20 de Mayo de 2016, de <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit166/63-67.pdf>

Morales, V. (s.f.). *Tasa Interna de Retorno (TIR)*. Recuperado el 28 de Mayo de 2016, de <http://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno.html>

Morales, V. (s.f.). *Valor Actual Neto (VAN)*. Recuperado el 25 de Mayo de 2016, de <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2011). *Manual Técnico para Instalación de Redes Eléctricas y de Conectividad*. Recuperado el 19 de Junio de 2016, de http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Resoluciones%20de%20Alcald%C3%ADa/A%C3%B1o%20%202011/RA-2011-0015.pdf

Navarro, M. (2014). *Matemática Financiera: Unidad No. III TMAR, VPN, PRI, TIR*. Recuperado el 28 de Abril de 2016, de <https://mauriconavarrozeledon.files.wordpress.com/2012/11/unidad-no-iii-tmar-vpn-pri-y-tir1.pdf>

Powers J. (1996). *An Introduction to Fiber Optic Systems*. Recuperado el 30 de Marzo de 2016, de <https://drive.google.com/a/udlanet.ec/folderview?id=0B0m5gqkcHt7w ekdlcURrUGgtRGs&usp=sharing#>

PUNTONET. (s.f.). *Ubicación de PUNTONET Ibarra*. Recuperado el 10 de Junio de 2016, de <http://www.puntonet.ec/empresarial/oficinas-a-nivel-nacional>

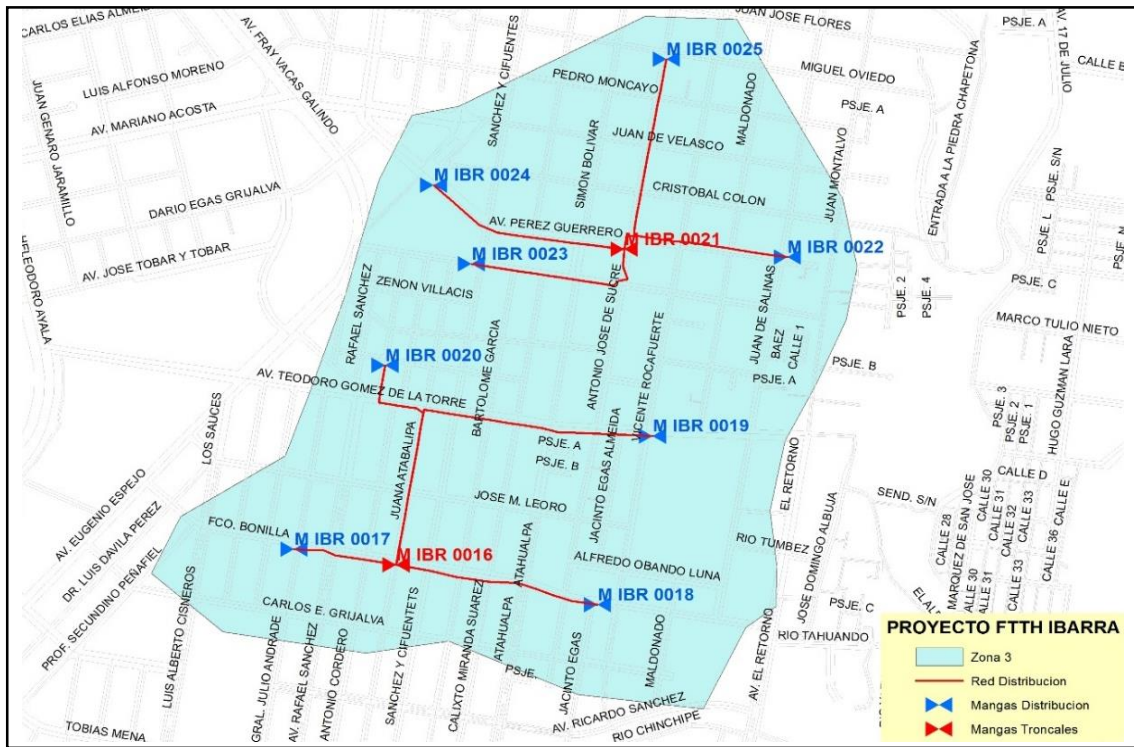
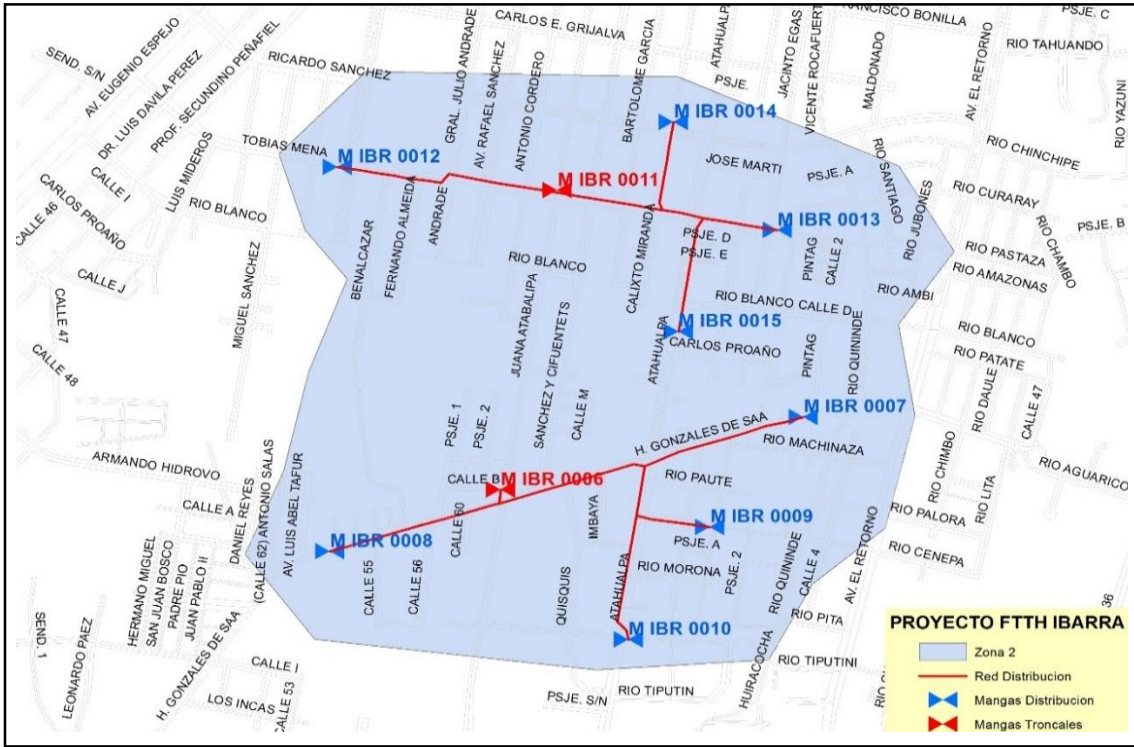
Santacruz, O. (2002). *Modulo Introductorio Principios Generales del Sistema de Fibra Optica*. Obtenido de Universidad Tecnologica Nacional Facultad Regional Cordova: <http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaII/PlantelExterior/IntroductorioResumen%20FO.pdf>

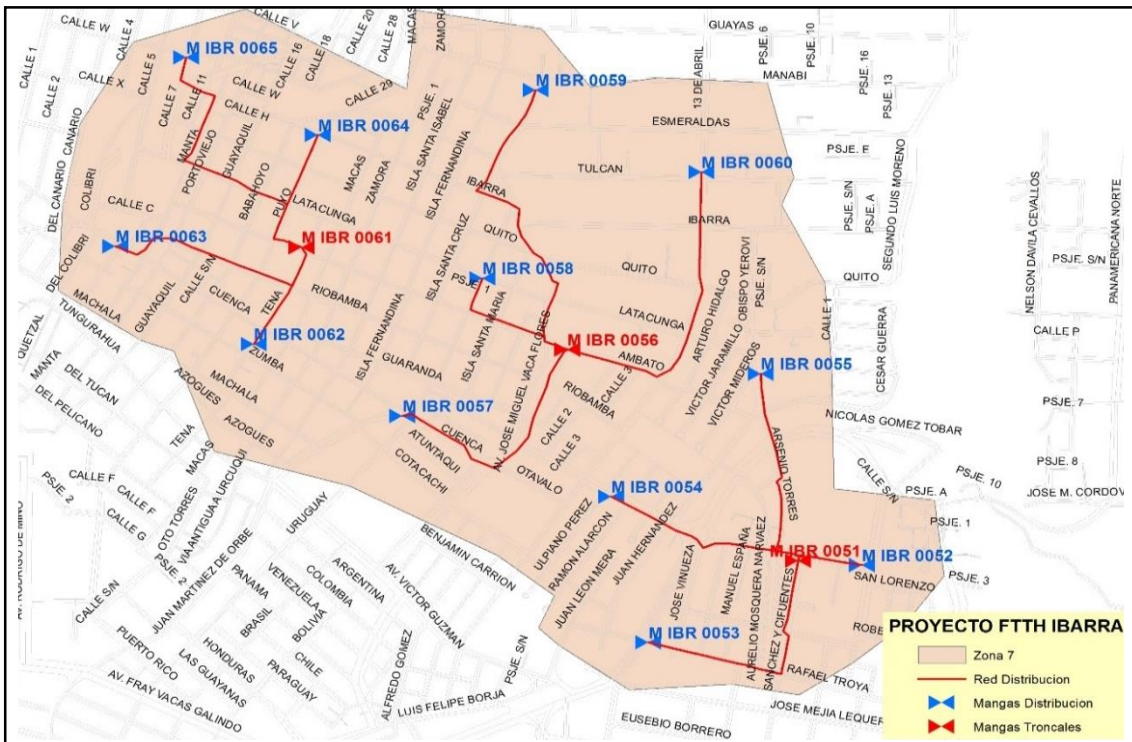
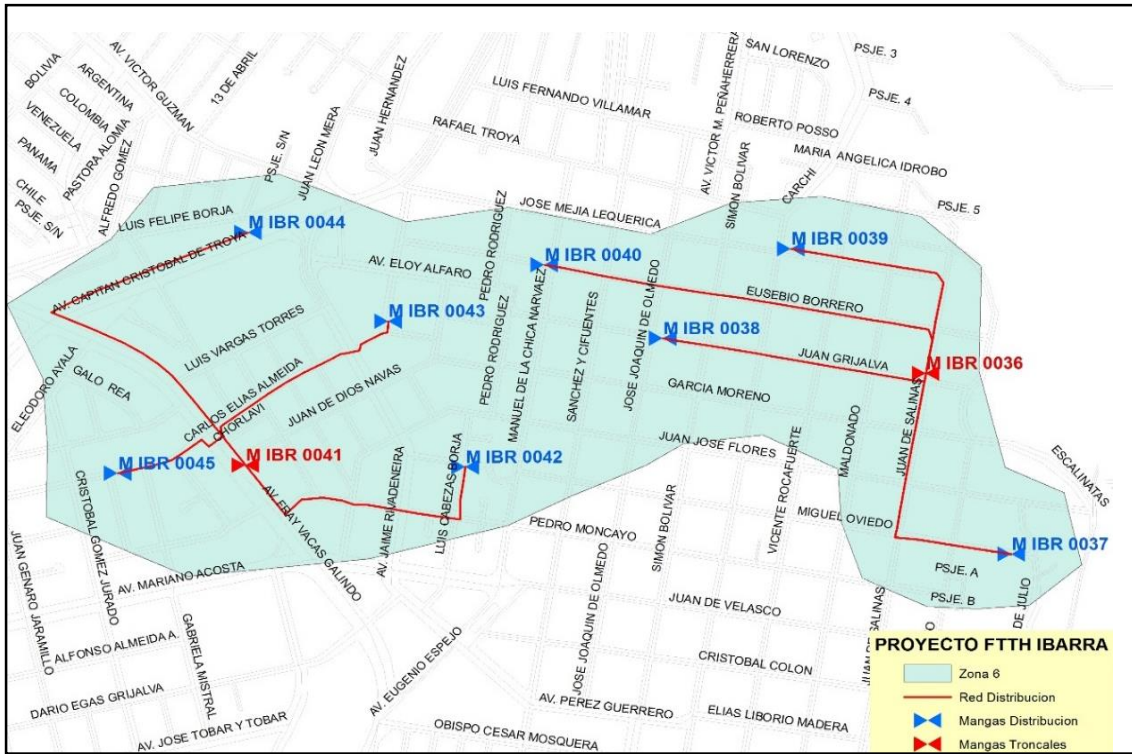
- Tello, M. (2010). *Medición de la Apertura Numerica*. Recuperado el 05 de Mayo de 2016, de Universidad Tecnológica de la Mixteca: http://www.utm.mx/~mtello/FibraOptica/Practicas/PRACTICA3_FO.pdf
- The Fiber Optic Association. (s.f.). *Guide to Fiber Optics & Premises Cabling*. Recuperado el 08 de Mayo de 2016, de <http://www.thefoa.org/ESP/Conectores.htm>
- The Fiber Optic Association, Inc. (s.f.). *The Fiber Optic Association*. Recuperado el 06 de Mayo de 2016, de Guide to Fibers Optics & Premises Cabling: <http://www.thefoa.org/ESP/Jerga.htm>
- Tripp, C. (2009). *Asignacion Dinamica de Ancho de Banda*. Recuperado el 28 de Mayo de 2016, de http://www.it.uc3m.es/muruenya/rba2/trabajos2009/Asignacion_Dinamica_de_Ancho_de_Banda_en_Redес_Opticas_Pasivas.pdf
- Union Internacional de Telecomunicaciones. (s.f.). *Sistemas de acceso optico de banda ancha basados en redes opticas pasivas*. Recuperado el 12 de Junio de 2016, de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.1-200501-I/es>
- Universidad Politecnica de Madrid. (s.f.). *Transmisión de datos por Fibra Óptica. Evaluación de la validez de un Sistema de Comunicaciones Ópticas*. Recuperado el 26 de 05 de 2016, de <http://www.tfo.upm.es/educational-tools/paneles/Intro2.html>

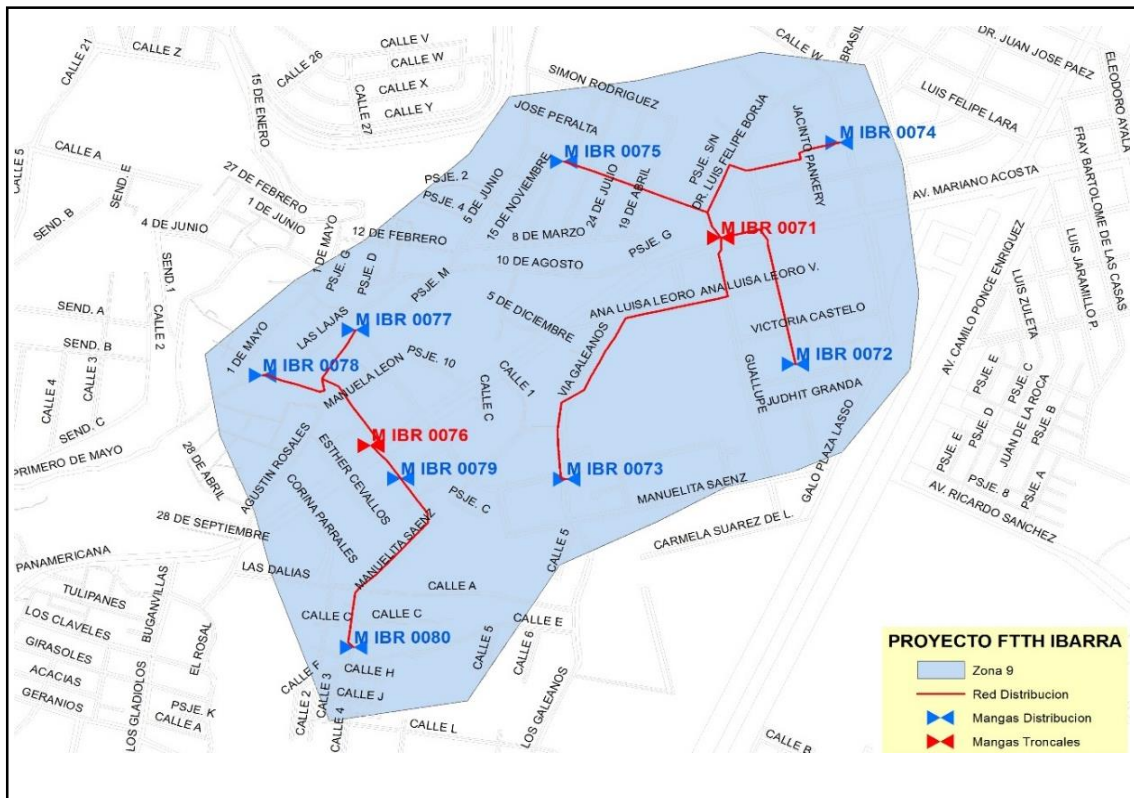
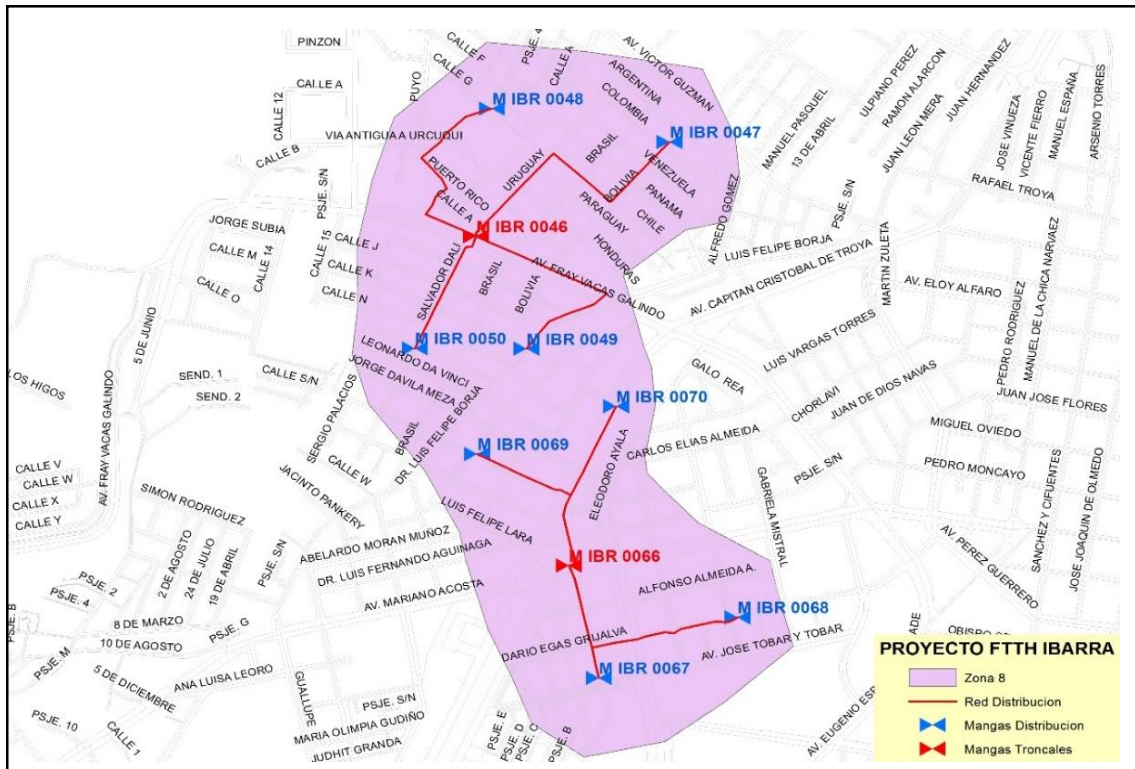
ANEXOS

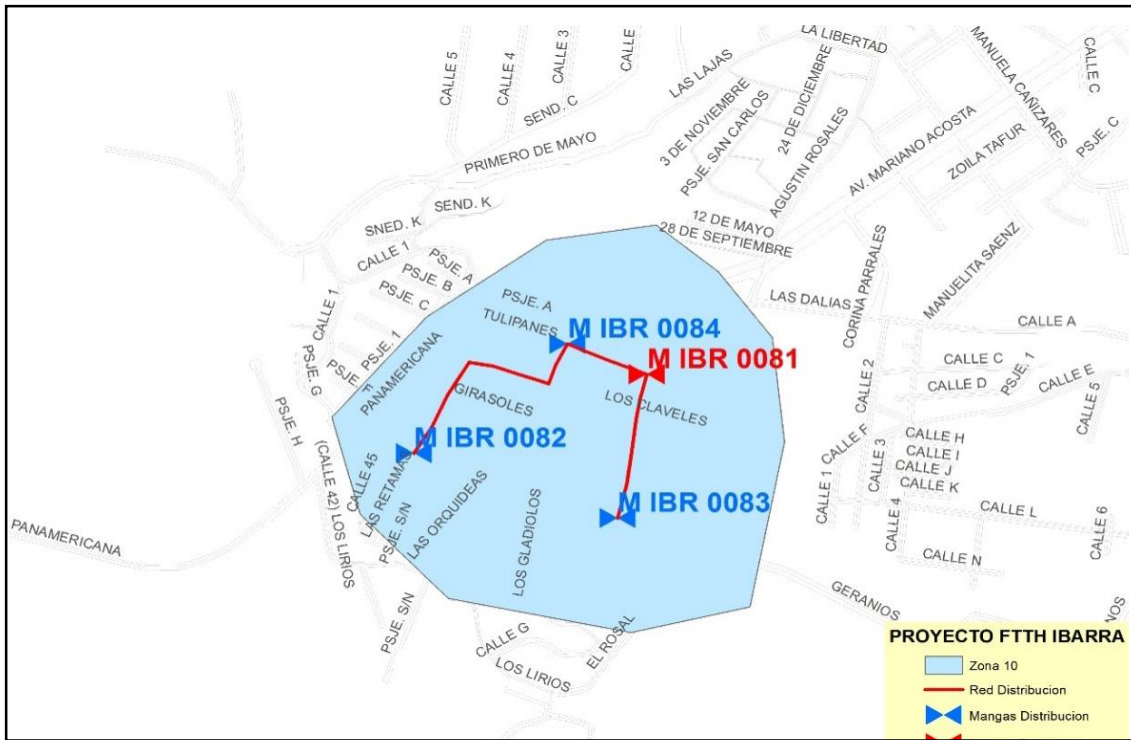
ANEXO A

Diseño red de distribución, mangas distribución, mangas troncales desde la zona de cobertura 2 hasta la zona de cobertura 10.









ANEXO B

Cálculo presupuesto de potencia óptica mangas de distribución M IBR 0003, M
IBR 0004, M IBR 0005.

Escenario 1 M IBR 0003

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm	4.32	0.4	1.73
	1490nm		0.3	
	1550nm		0.25	
				25.53

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm		0.4	
	1490nm	4.32	0.3	1.3
	1550nm		0.25	
				25.1

Escenario 2 M IBR 0003

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm	4.04	0.4	1.62
	1490nm		0.3	
	1550nm		0.25	
				25.42

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm		0.4	
	1490nm	4.04	0.3	1.21
	1550nm		0.25	
				25.01

Escenario 1 M IBR 0004

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm	4.9	0.4	1.96
	1490nm		0.3	
	1550nm		0.25	
				25.76

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm		0.4	
	1490nm	4.9	0.3	1.47
	1550nm		0.25	
				25.27

Escenario 2 M IBR 0004

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm	4.7	0.4	1.88
	1490nm		0.3	
	1550nm		0.25	
				25.68

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm		0.4	
	1490nm	4.7	0.3	1.41
	1550nm		0.25	
				25.21

Escenario 1 M IBR 0005

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm	4.83	0.4	1.93
	1490nm		0.3	
	1550nm		0.25	
				25.73

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm		0.4	
	1490nm	4.83	0.3	1.45
	1550nm		0.25	
				25.25

Escenario 2 M IBR 0005

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm	4.52	0.4	1.81
	1490nm		0.3	
	1550nm		0.25	
				25.61

DESCRIPCIÓN		NÚMERO	ATENUACIÓN POR ELEMENTO	ATENUACIÓN TOTAL
Connectors ITU671=0.5dB		4	0.5	2
Fusion splices ITU751=0.1 dB average		6	0.1	0.6
Mechanical Splices ITU751=0.1 dB average			0.1	
Splitters	1x2		3.6	
	1x4	1	7.2	7.2
	1x8		10	
	1x16	1	14	14
	1x32		16	
	1x64		19.5	
Fiber	1310nm		0.4	
	1490nm	4.52	0.3	1.36
	1550nm		0.25	
				25.16

ANEXO C

Hojas técnicas equipos OLT, ONT.

PRODUCT DATASHEET

Calix E7-2 Ethernet Service Access Platform

PRODUCT OVERVIEW

The Calix E7 Ethernet Service Access Platform integrates IP service delivery and Ethernet transport into a compact, high availability, carrier-class modular system that delivers high-performance, scalable network solutions for service providers. The 1RU E7-2 platform delivers Gigabit Passive Optical Network (GPON) and point-to-point Gigabit Ethernet (GE) services with redundant 10-Gigabit Ethernet (10GE) transport and aggregation within a single integrated 2-slot chassis. The E7 enables service providers to deliver differentiated triple play services, advanced business services, and mobile backhaul from a single converged network that revolutionizes the economics of networking by enabling new services and market expansion with a flexible, scalable, pay-as-you-grow solution.



E7 PRODUCT DESCRIPTION

ETHERNET SERVICES ACCESS NETWORK:

Residential and business services are converging as more subscribers work from home offices, and internet "over the top" video services consume an increasing percentage of both enterprise and service provider network capacity. IP and Ethernet are the dominant network and transport protocols, and all services – voice, data, and video – are rapidly migrating to a packet-based architecture. High performance applications demand high performance solutions; the Calix E7-2 Ethernet Service Access Platform meets the demanding requirements of Ethernet services access networks.

The Calix E7 delivers a wide array of high performance applications, including 10GE Ethernet transport, delivery of high density residential triple play services over GPON and point-to-point Ethernet, Metro Ethernet Forum (MEF) compliant business services, mobile backhaul, and protected GE aggregation of Calix E7, C7 and E5 platforms.

HIGH DENSITY SUBSCRIBER ACCESS: With two cards per system, the E7-2 provides flexible, high density subscriber access options in a 1RU shelf:

- 8 GPON and 16 GE ports (528 ONTs)
- 24 point-to-point GE ports (24 ONTs)

With Multi-dwelling unit (MDU) ONTs, the subscribers per 1RU system can exceed several thousand.

CHASSIS FEATURES IN A STACKABLE FORMAT:

The Calix E7-2 combines the most advantageous attributes of a small form factor product with a large chassis-based system, while eliminating the disadvantages of each.

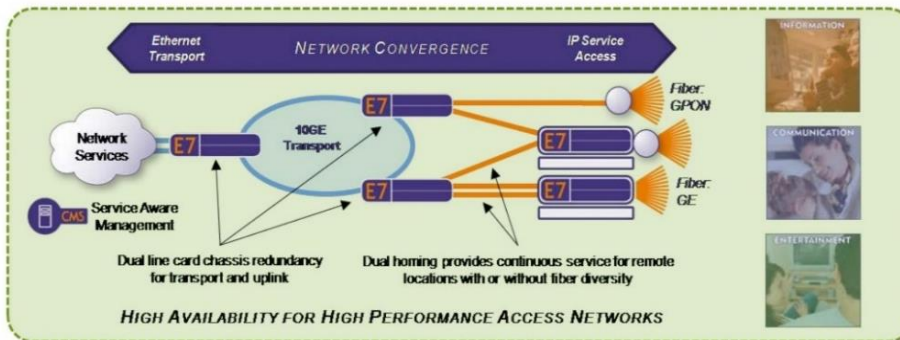
- 1RU design can expand from a single slot, for very low first install cost, to multiple chassis, to add subscriber growth yielding a near linear cost curve
- Twenty line cards are managed as a single chassis for operational efficiency
- Mix and match line cards in a common chassis – no common control equipment required
- Line cards can be added or replaced without uninstalling/installing power, alarms, or cables – reducing MTR from hours to minutes
- Subscribers are easily aggregated and network resources efficiently shared across protected trunk facilities
- Hardened 1RU system delivers GPON and Ethernet with 10GE transport from CO, cabinet or pole mount
- Resilient, hot-swappable line cards and fan tray

With the E7-2, service providers no longer need to decide between a single service product and a high growth chassis solution. E7-2 provides low first install cost, operational efficiency and near linear incremental cost per subscriber, enabling Calix customers to maximize their business return.

PRODUCT DATASHEET

Calix E7-2 Ethernet Service Access Platform

ARCHITECTURE AND KEY ATTRIBUTES



FULL SPECTRUM OF SERVICES: The E7 delivers a full spectrum of access services over GPON and Point-to-Point Ethernet using the family of Calix 700 ONTs, including Single Family Unit (SFU), Small Business Unit (SBU), Multi-Dwelling Unit (MDU), and rack-mount models.

- IPTV – broadcast and Video on Demand (VoD)
- MEF compliant business services
- High-Speed Internet (HSI) access
- Voice – Native SIP/VoIP and TDM Gateway support
- T1 services
- CATV video: RF video overlay with RF return

Calix 700GX ONTs support auto sensing GPON and GE network interfaces, allowing service providers to manage service changes without subscriber onsite technical support.

DELIVERING “QUALITY OF EXPERIENCE”: The E7 provides per-subscriber and per-service hierarchical QoS to deliver uncompromised triple play and business services. A powerful collection of classification, policing, queuing and scheduling algorithms let operators manage per-subscriber and per-service traffic flows to maintain priority/delay/loss service differentiation within the E7 network.

SCALABLE IPTV SUPPORT: IPTV services are by far the most demanding in terms of quality, and user expectations are very high. The E7 supports industry standard IGMP snooping to identify and replicate multicast video sent between the set-top box and the video distribution network, providing efficient, scalable, high-quality IPTV distribution on both GPON and Ethernet interfaces

INTEGRATED HIGH-CAPACITY AGGREGATION:

The E7 is built on a core Layer 2 and Layer 3 switch capable of full-duplex, line rate forwarding at all frame sizes and traffic types across all interfaces. This capacity makes the E7 ideal for aggregation and transport of IP/Ethernet services across the access network. The E7 platform supports industry standard pluggable modules for all service and network interfaces, including ITU G.984 compliant GPON, Small Form-Factor Pluggable (SFP) Gigabit Ethernet, XFP 10GE ports, and SFP+ 10GE ports.

NETWORK RESILIENCY: The Calix E7 supports a flexible set of standards-based network topology protocols for use in aggregation, ring-based transport, and uplink applications.

- ITU G.8032 Ethernet Ring Protection Switching (ERPS)
- IEEE 802.1w Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP)
- IEEE 802.3ad/802.1AX Link Aggregation

SERVICE AWARE MANAGEMENT: The E7, along with the Calix Management System (CMS), allows operators to manage services while understanding their relationship to the network infrastructure. Service-oriented management includes rapid service provisioning, service templates and policies, and service assurance. Comprehensive network management tools let operators create physical and logical topology maps, engineer traffic flows, and manage network commissioning and software upgrades. Network inventory, alarm surveillance and PM collection are enabled by the E7 system. The E7 provides locally hosted Web GUI, CLI, and SNMP interfaces.

SPECIFICATIONS

Calix E7-2 Ethernet Service Access Platform

SUBSCRIBER AND NETWORK PORTS

Subscriber and network port count is determined by the line cards placed in the E7-2's two universal card slots.

E7-2 Card	Line Cards per E7-2	GPON Ports	GE SFP/CSFP Ports	10GE XFP Ports	10GE SFP+ Ports	VDSL2/AD SL2+	POTS
10GE-4	2	0	12	2	2	N/A	N/A
GPON-4	2	4	8	2	2	N/A	N/A
GE-12	2	0	12	0	2	N/A	N/A
GE-24	2	0	24	0	2	N/A	N/A
VDSL2-48	1	0	4	0	2	48	Splitters
VDSL2-48C	2	0	2	0	2	48	48

BACKPLANE BANDWIDTH

100 Gbps between slots

SLOTS

2 universal line card slots
1 FTA slot

DIMENSIONS (W x H x D)

17.5 x 1.7 x 11.45 inches
44.5 x 4.3 x 29.1 cm
Height is 1 RU

WEIGHT

5.9 lb (2.7 kg) E7 shelf
7.4 lb (3.4 kg) shelf with Fan Tray

OPERATING ENVIRONMENT

Temperature: -40 to +65° C
(-40° F to +149° F)
Humidity: 10 to 95%
(non-condensing)
Operating altitude: 10,000 ft
(3,049 m)

STORAGE ENVIRONMENT

Temperature: -40 to +85° C
(-40° F to +185° F)
Humidity: 5 to 95%

MANAGEMENT SUPPORT

Calix CMS network management
Calix CLI and Web GUI for local management interface
SNMP v2c AND v3 performance and fault monitoring

MANAGEMENT INTERFACES

Ethernet 10/100 (RJ-45) connector on Calix E7-2 Fan Tray
Ethernet 10/100 (RJ-45) connector on back of Calix E7-2
RS-232 (RJ-11) connector on Calix E7-2 Fan Tray

SYNCHRONIZATION

Synchronization is enabled by the E7-2 line cards as required
External reference timing
Built-in Stratum-3 clock
Hardware-ready to support Synchronous Ethernet

ALARM I/O INTERFACES

Wire wrap pin access on E7 back
User definable alarm inputs: 7; outputs: 1

FIBER INTERFACES

All optical ports use pluggable optics (SFP, XFP, SFP+)
LC or SC connectors on modules

ANALOG/METALLIC INTERFACES

Two standard 25-pair RJ-21 connectors per slot

TIMING I/O INTERFACES

Access through wire wrap pins on the back of the Calix E7
BITS clock (sink and source)

STANDARDS COMPLIANCE

NEBS Level 3 compliance (GR-63-CORE, GR-1089-CORE, GR-3028)
UL 60950
FCC Part 15 Class A

POWER FEEDS

Integrated power management on Calix E7-2 line cards
Redundant -48/60 VDC battery feeds (A and B)
Input Range: -42.5VDC to -72VDC
Fuse: 7.5 Amps (A and B)



SPECIFICATIONS

Calix E7 Ethernet Service Access Platform

FAN TRAY ASSEMBLY

FANS

4 fans housed in fan tray
Resilient design maintains system cooling with one fan failure

MANAGEMENT INTERFACES

Ethernet 10/100 (RJ-45 connector)
RS-232 (RJ-11 connector)

SYSTEM INFORMATION

7-segment LCD display
System Controller (MGT) – GREEN

SHELF ALARM INDICATOR

Critical (CR) - RED
Major (MJ) - RED
Minor (MN) - AMBER
Alarm Cut-Off (ACO) button

POWER SPECIFICATIONS

Typical CO Environment
Power: 22 Watts
Heat dissipation: 6 Watts
RT Environment
Power: 65 Watts
Heat dissipation: 18 Watts

MAINTENANCE

Field-replaceable air filter
(not used in RT locations)
Hot-swappable fan tray assembly



ORDERING INFORMATION

CALIX E7-2 ETHERNET SERVICE ACCESS PLATFORM

000-00372.....	E7-2 Chassis with Fan Tray Assembly and Installation Kit
100-01451.....	E7-2 Fan Tray Assembly
000-00228.....	E7-2 Fan Tray Assembly Filter, Package of 10 units
100-01771.....	E7-2 10GE-4 card (2x 10GE XFP, 2x 10GE SFP+, 12x 1GE/2.5GE SFP)
100-01772.....	E7-2 GE-12 card (12x GE SFP, 2x 10GE SFP+)
100-01773.....	E7-2 GPON-4 card (4x GPON OIM, 8x 1GE/2.5GE SFP, 2x 10GE XFP, 2x 10GE SFP+)
100-01949.....	E7-2 GE-24 card (24x GE CSFP, 2x 10GE SFP+)
100-01908.....	E7-2 VDSL2-48C card (48x Combo VDSL2 & POTS, 2x 1GE/2.5GE SFP, 2x 10GE SFP+)
100-01911.....	E7-2 VDSL2-48 card (48x VDSL2 Overlay w/ 900-Ohm splitters, 4x 1GE/2.5GE SFP, 2x 10GE SFP+)

CALIX PLUGGABLE TRANSCEIVER MODULES

The E7-2 supports pluggable modules for all service and network interfaces. Refer to the Calix Optical Transceiver Modules Datasheet (#250-00191) for a complete list of modules and specifications.

CSFP Option 2	1GE optical dual-port Compact Small Form-factor Pluggable (CSFP) Option 2 modules
SFP	1GE and 2.5GE optical and copper Small Form-factor Pluggable (SFP) modules
SFP+	10GE optical Enhanced Small Form-factor Pluggable (SFP+) modules
Direct Attach.....	Multi-rate copper Small Form-factor Pluggable (SFP/SFP+) cables
XFP	10GE optical Small Form-factor Pluggable (XFP) modules
GPON OIM.....	2.5Gbps GPON (Class B+ ODN with minimum 28dB link budget, up to 1:64 splits)
ER-GPON OIM.....	2.5Gbps Extended Reach GPON (up to 40 km with 1:8 split)

Notes: For GPON OIM, 10GE XFP, 10GE SFP+ pluggable transceivers, Direct Attach cables, and all transceivers used in CSFP Option 2 sockets, only products purchased directly from Calix are supported. The use of GPON OIM, Active Ethernet CSFPs, 10GE XFP, 10GE SFP+ pluggable transceivers and Direct Attach cables not purchased directly from Calix is not supported and will void all product warranties covering the Calix equipment to which such third-party materials are connected.

- SFP modules may also be used in CSFP Option 2 sockets, and in SFP+ sockets at 1GE rate.
- Copper Direct Attach cables can operate in SFP, CSFP Option 2, and SFP+ sockets at 1GE, 2.5GE, and 10GE data rates as supported by the card type.



1035 N. McDowell Blvd., Petaluma CA 94954
TEL: 877.766.3500 WWW.CALIX.COM

250-00170, Rev.12

© Calix. Calix and the Calix logo design are trademarks of Calix Networks, Inc.

Page 4

PRODUCT DATASHEET

T071G Home Gateway Unit



DESCRIPTION

The Calix T071G GPON Home Gateway Unit (HGU) is a single-family service delivery device that combines ONT functionality with Home Gateway capabilities; this combination delivers the high-speed services and exceptional networking performance subscribers expect from a fiber-based system. The Home Gateway Unit integrates a 2.5 GPON WAN interface with Layer 3 switching and routing to efficiently manage premises network traffic. The T071G features 1 Gigabit Ethernet (GE) port that can support a variety of indoor single-family deployment scenarios.

GIGABIT HOME NETWORKING: The T071G HGU ONT is designed for the industry-leading Calix E7 OLT platform. The T071G HGU ONT terminates a GPON fiber link at the subscriber's location and provides industry-standard interfaces for the customer premises equipment. The ONT enables subscribers to receive broadband data and IP video on a single fiber. At the ONT, the optical signal is converted to an Ethernet electrical signal for transmission over the residence's CAT5 cable.

EASY TO INSTALL, ACTIVATE, AND MAINTAIN: Featuring innovative software management tools, the T071G HGU ONT can be configured, activated and upgraded quickly from a remote location. Extensive troubleshooting capabilities, remote software downloads, and easy-to-use service profile menus ensure that services are delivered and the ONT is maintained without needless truck rolls and hardware upgrades. Employing a T071G HGU ONT allows service providers to install the ONT once and support network upgrades with a simple, remote software download.

NEW STANDARD FOR PERFORMANCE AND RELIABILITY: The T071G HGU ONT is a network-managed, intelligent service gateway that supports both Layer 2 bridged operations and Layer 3 routed services. The sophisticated software allows the ONT to support multiple high-bandwidth applications such as: high-speed data, HDTV-based IPTV video, and routing features.

CONFIGURATION, PROVISIONING AND MANAGEMENT CHOICES: The T071G HGU ONT can be fully provisioned and managed using OMCI and TR-069. The Home Gateway functions are also configurable with a configuration file downloaded from the OLT via OMCI. This allows the T071G HGU to be provisioned as a Layer 2 bridged ONT rather than for routed operation.



PRODUCT DATASHEET

T071G Home Gateway Unit

KEY ATTRIBUTES

- Standards-based Full Service Access Network (FSAN), ITU-T GPON
- Home Gateway:
 - Layer 2 and 3 switching and routing
 - DHCP server options
 - DHCP (IPoE) and PPPoE network connections
 - Network Access Translation (NAT), public to private IP addressing
 - Configurable IP address schemes, subnets, static-IP addresses
 - DNS server
 - Port forwarding
 - Firewall and security
 - Application and website filtering
 - Selectable forwarding and blocking policies
 - DMZ hosting
 - Denial of service
 - MAC filtering
 - Universal Plug-and-Play (UPnP)
- Layer 2 Features:
 - MAC address learning with 8 K MAC table
 - Transparent LAN service (TLS)
- One Gigabit Ethernet (GE) interface:
 - Symmetrical 1 Gbps bandwidth for IPTV and data services
 - Multi-rate 10/100/1000 BaseT Ethernet, auto-negotiating
- Supports multiple data service profiles
- Traffic management and Quality of Service (QoS):
 - 802.1Q VLANs
 - 802.1p service prioritization
 - Q-in-Q tagging
 - Multiple VLANs
 - Rate limiting
 - DiffServ
 - Pre-defined QoS on service type
- IPTV, IGMPv2:
 - Bridged mode IPTV
 - IGMP Snooping and Proxy
 - IGMP Fast Leaves
 - Unicast Video-on-Demand (VOD)
- Complete OAM&P
- Gateway Management:
 - TR-069
 - Local subscriber GUI, access provisionable
 - Remote WAN side GUI access
- Management Features:
 - OMCI for GPON, bridged port functions and software download
 - TR-069 for Home Gateway (HGW) functions and HGW profile download
 - Web GUI for local and remote HGW management
 - Config file for Home Gateway functions and country specific configuration, downloadable via OMCI or TR-069
- Powering:
 - Power Adaptor included: Wall mount plug
 - Dying gasp



SPECIFICATIONS

T071G Home Gateway Unit

DIMENSIONS

Height: 35 mm
Width: 100 mm
Depth: 140 mm
Weight: 181 g

GPON CHARACTERISTICS

Maximum Attenuation:
GPON Class B+, 28 dB
1490 ± 10 nm optical receiver:
-28.0 to -8.0 dBm
1310 ± 20 nm optical transmitter:
0.5 to 5.0 dBm

INTERFACES

GPON: SC/APC connector
Data/IPTV: 10/100/1000 BaseT
Ethernet port, RJ-45 connector
Power: DC barrel connector

DATA

Drop length: 328 feet (100 m)
maximum using CAT5 cable
Number of ports: 1
10/100/1000 BaseT auto-negotiation
or manual configuration
Traffic Management and QOS:
802.11Q VLAN; 802.11p voice,
video, data and management
priorities; Q-in-Q tagging; Rate
limiting

MANAGEMENT

OAM&P
TR-069 remote management
TR-064 local management
TR-98 Internet gateway device data
model
Web GUI: Local and remote HGW
management
Config file: HGW profile

ENVIRONMENTAL

Operating temperature: Indoor
ambient temperature, 0° to 40°C
Storage temperature: -20° to 70°C
Operating/storage relative humidity:
5 to 95 % non-condensing
Altitude: -61 to 3,048 m above sea
level

REGULATORY

Emissions: FCC Part 15 Class B,
IC ICES-003 Class B
Safety: UL 60950 and UL 1697
approved, EN 60950-1:2006, EN
60825-2:2004, CE Mark
EMC: DIRECTIVE 2004/108/CE,
DIRECTIVE 1999/5/EC,
EN 300 386 V1.5.1:2011 Class B,
EN 55022, Class B
EN 55024:1998+A1/A2
Waste Directives: 2002/95/EC,
2002/96/EC

STANDARDS

ITU-T: G.984.1, .2, .3, .4, .5
Broadband Forum: TR-069 Issue 1
Amt 1/2/3
IEEE: 802.3, 802.3AB, 802.3U

POWER

Power Adaptor included with kit:
Wall mount plug
AC input: 100-240 V±10%, 0.6 A,
50-60 Hz±5%

ORDERING INFORMATION

Calix T071G Home Gateway Unit Part Number

T071G HGU ONT-EU (100-03719)..... T071G HGU, 1 Gigabit Ethernet



1035 N. McDowell Blvd., Petaluma CA 94954
TEL: 877.766.3500 WWW.CALIX.COM

250-00274, Rev.11

© Calix. All Rights Reserved.

Page 3