



# Universidad de Cuenca

## Facultad de Ingeniería

### Maestría en Gestión Estratégica de Tecnologías de la Información

---

## Diseño de una Red FTTH para la Utilización de Servicios de los Operadores de Telecomunicaciones en la Ciudad de Cuenca

---

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE MAGISTER

---

**Director :**

*Ing. Darwin Fabián Astudillo Salinas, PhD*

**Autor :**

*Ing. Víctor Fabián Heredia Sandoval*

---

Cuenca - Ecuador

2016





# Resumen

El presente proyecto presenta el diseño de una red de fibra hasta el hogar (*Fiber To The Home*(FTTH) por sus siglas en inglés), para la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay en Ecuador. El objetivo del diseño es llevar a los hogares un gran volumen de información; tomando en cuenta que cada vez existen servicios de telecomunicaciones que requieren un mayor ancho de banda. Por tanto, se consideró una tecnología que permita llegar a la mayor parte de hogares con el menor costo de implementación, y respetando las normativas técnicas/estéticas para el tendido de cables en la urbe.

Este documento consta de los fundamentos teóricos y técnicos de una red FTTH para poder explicar el uso de la misma en la implementación de esta topología encaminada a cubrir demandas de Internet, cubriendo a consumidores de todo nivel, desde residenciales hasta empresas corporativas nacionales e internacionales que se han situado en la ciudad, la red FTTH está orientada a cubrir la demanda masiva de conectividad utilizando un gran ancho de banda.

Se abarca temas desde la parte de componentes físicos, descripciones y uso de cada implemento, conexiones y demás aspectos técnicos que se necesita para lograr tener este tipo de red en la ciudad de Cuenca. También se considera los fundamentos de transmisión de la fibra óptica como medio de transmisión y los alcances que se obtiene con la tecnología de redes ópticas pasivas (*Passive Optical Network*(PON)).

Finalmente se describe las conclusiones y recomendaciones del caso para sean considerados para cualquier empresa que desee implementar este tipo de Red.

**Palabras claves :** FTTH, telecomunicaciones, banda ancha, normativas técnicas/estéticas, PON. .





# Abstract

This work presents the design of a fiber to the home (FTTH) network, for the city of Cuenca, Azuay province in Ecuador. The design goal is to bring home a large volume of information; taking into account that every time there are telecommunications services that require higher bandwidth. Therefore, a technology to reach most households with the lowest cost of implementation was considered, and respecting the technical / aesthetic standards for laying cables in the city.

This document consists of the theoretical and technical FTTH network fundamentals to explain the use of it in implementing this topology designed to meet demands of Internet, covering consumers of all levels, from residential to national and international corporate companies and that have been located in the city, the FTTH network is geared to meet the massive demand for connectivity using a high bandwidth.

It covers topics from the part of physical components, descriptions and use of each attachment, connections and other technical aspects needed to achieve have this kind of network in the city of Cuenca. It is also considered the fundamentals of fiber optics transmission as a transmission medium and scope obtained with the technology of PON.

Finally, conclusions and recommendations of case to be considered for any company wishing to implement this type of network is described.

**Keywords : FTTH, telecommunications, broadband, technical / aesthetic standards, PON.**





# Dedicatoria

## **A Dios.**

Por permitir que el día a día sea un camino de vivencia cotidiana, en donde con esfuerzo, y esmero se logre aprender el sentido de estar en este mundo y cumplir las metas propuestas.

## **A mis Hijos (Melanie, Sebastián, Gabriel).**

Por ser esas tres razones de vida que me acompañan con el amor suficiente, para demostrar que siempre lograremos esos ideales propuestos.

## **A mi Familia.**

Por estar siempre apoyando en todo momento, por estar pendientes de mis logros y metas, por su comprensión y consejos, y por su amor incondicional.

**Victor Heredia S.**







# Agradecimientos

A aquellas personas que han estado presentes de alguna u otra forma, con su apoyo han permitido culminar con éxito esta meta propuesta; a los maestros que con sus conocimientos impartidos logran sembrar esa experiencia que servirá en mi vida profesional, a mis compañeros, amigos que compartieron ese sentimiento de confianza para culminar estos estudios.

**Victor Heredia S.**





# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>III</b>
<b>Abstract</b>	<b>V</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>VII</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>IX</b>
<b>Índice general</b>	<b>XI</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>XV</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>XVII</b>
<b>Abreviaciones y acrónimos</b>	<b>XXIII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Justificación . . . . .	1
1.2. Definición del Problema . . . . .	1
1.3. Objetivos . . . . .	2
1.3.1. Objetivo General . . . . .	2
1.3.2. Objetivos específicos . . . . .	2
1.4. Alcance . . . . .	2
<b>2. Generalidades</b>	<b>3</b>
2.1. Evolución de las telecomunicaciones . . . . .	3
2.2. Tecnología de red de acceso FTTx . . . . .	4
2.3. Fibra hasta el hogar (FTTH) . . . . .	5
2.4. Red Óptica Pasiva (PON) . . . . .	6



2.4.1. Componentes de una Red PON . . . . .	7
2.4.2. Tipos de Tecnologías de redes PON . . . . .	7
2.4.3. Redes PON de nueva generación . . . . .	8
2.5. Tecnología GPON . . . . .	10
2.6. Servicios . . . . .	11
2.7. Ranking Global FTTH a nivel mundial . . . . .	13
<b>3. Aspectos Tecnológicos, Equipamiento</b>	<b>17</b>
3.1. La fibra óptica . . . . .	17
3.1.1. Tipos de Fibra Óptica . . . . .	17
3.1.2. Ventajas y desventajas de la fibra óptica . . . . .	19
3.1.3. Código de colores en los estándares de fibra óptica . . . . .	20
3.1.4. Atenuación en la fibra óptica . . . . .	20
3.2. Empalmes . . . . .	23
3.3. Conectores ópticos . . . . .	23
3.4. Infraestructura en redes PON . . . . .	25
3.5. Elementos de una red FTTH . . . . .	26
3.6. Niveles de una red FTTH . . . . .	29
3.7. Áreas de despliegue de una red FTTH . . . . .	30
<b>4. Métodos y temas relacionados</b>	<b>33</b>
4.1. Modelo Cálculo Inicial . . . . .	33
4.2. Temas relacionados a nivel nacional . . . . .	34
4.3. Temas relacionados a nivel internacional. . . . .	35
<b>5. Propuesta de diseño de una red FTTH para la ciudad de Cuenca</b>	<b>37</b>
5.1. Cifras en Cuenca . . . . .	37
5.2. Escenario de Despliegue . . . . .	38
5.3. Cálculo del balance del enlace óptico . . . . .	39
5.4. Especificaciones técnicas de los equipos a utilizar . . . . .	40
5.4.1. Fibra Óptica . . . . .	41
5.4.2. Equipo Agregador o Switch . . . . .	41
5.4.3. Equipo <i>Optical Line Termination(OLT)</i> , Optical Line Terminal .	42
5.4.4. Equipo <i>Optical Network Termination(ONT)</i> , Optical Network Terminal. . . . .	43
5.5. Diseño de la red FTTH . . . . .	45
5.5.1. Cálculo del presupuesto del enlace óptico . . . . .	45



5.5.2.	Propuesta de diseño . . . . .	47
5.5.3.	Especificaciones por sectores de cobertura . . . . .	56
5.5.3.1.	Nodo parque industrial . . . . .	56
5.5.3.2.	Nodo Aeropuerto . . . . .	56
5.5.3.3.	Nodo Totoracocha . . . . .	57
5.5.3.4.	Nodo Monay . . . . .	58
5.5.3.5.	Nodo Álvarez . . . . .	60
5.5.3.6.	Nodo de las Américas . . . . .	60
5.5.3.7.	Nodo Arenal . . . . .	62
5.5.3.8.	Nodo Época . . . . .	63
5.5.3.9.	Nodo Paucarbamba . . . . .	65
5.5.3.10.	Nodo Mall del Río . . . . .	65
5.5.3.11.	Nodo Control Sur . . . . .	66
5.6.	Análisis Económico . . . . .	69
5.6.1.	Costos Establecidos . . . . .	70
5.6.2.	Tiempo de Recuperación de la Inversión . . . . .	72
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>75</b>
6.1.	Conclusiones . . . . .	75
6.2.	Recomendaciones . . . . .	76
<b>A.</b>	<b>Diseño de una red de fibra hasta el hogar para la Ciudad de Cuenca</b> <b>(artículo científico)</b>	<b>79</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>91</b>





# Índice de figuras

2.1. Escenarios <i>Fiber-To-The-x</i> (FTTx) . . . . .	5
2.2. Fibra P2MP . . . . .	6
2.3. Presente y Futuro de las redes <i>Next Generation Network</i> (NGN) . . . . .	8
2.4. Generación PON por FSAN . . . . .	9
2.5. Infraestructura GPON . . . . .	10
2.6. VoIP . . . . .	12
2.7. Penetración de la Tecnología FTTH a nivel Mundial . . . . .	14
2.8. Ranking Ecuador FTTH . . . . .	15
3.1. Tipo de fibra y su alcance . . . . .	18
3.2. Medición de atenuación de fibra con <i>Optical Loss Test Set</i> (OLTS) . . . . .	22
3.3. OTDR . . . . .	22
3.4. Conector <i>SC Simplex, SC Duplex</i> . . . . .	23
3.5. Conector <i>ST</i> , para empalme mecánico . . . . .	24
3.6. Conector <i>LC</i> . . . . .	24
3.7. Conector <i>FC</i> . . . . .	24
3.8. Conector <i>MTRJ</i> . . . . .	25
3.9. Componentes de red PON . . . . .	25
3.10. Armario Rack . . . . .	26
3.11. <i>Optical Distribution Network</i> (ODF) de 3Dnet . . . . .	27
3.12. Conector . . . . .	27
3.13. Caja de empalme . . . . .	28
3.14. Caja de distribución . . . . .	28
3.15. Bandeja y <i>splitter</i> . . . . .	29
3.16. Niveles de una Red FTTH . . . . .	30
3.17. Red de viviendas multifamiliares . . . . .	31
3.18. Red de Fibra FTTH a viviendas tipo villa . . . . .	32



4.1. Marco para una evaluación Técnico-económica . . . . .	34
5.1. Sectores de cobertura . . . . .	39
5.2. Cable Figura 8 de 144 hilos . . . . .	41
5.3. Cable Drop marca Furukawa . . . . .	42
5.4. Cisco Catalyst 4900M . . . . .	42
5.5. Switch HPE 5920 5920AF-24XG . . . . .	42
5.6. <b>ONT</b> Tellion . . . . .	43
5.7. Flujo secuencia de pasos para diseño de una red <b>FTTH</b> . . . . .	46
5.8. Cálculos de enlace a distancias de 4 <i>Km</i> y 10 <i>Km</i> . . . . .	51
5.9. Diseño de despliegue Red <b>FTTH</b> entre dos nodos . . . . .	52
5.10. Red <b>FTTH</b> para la ciudad de Cuenca . . . . .	54
5.11. Nodos por sector . . . . .	54
5.12. Cobertura Nodo P. Industrial . . . . .	56
5.13. Cobertura Nodo Aeropuerto . . . . .	57
5.14. Cobertura Nodo Totoracocha . . . . .	58
5.15. Cobertura Nodo Monay . . . . .	59
5.16. Cobertura Nodo Álvarez . . . . .	61
5.17. Cobertura Nodo de las Américas . . . . .	62
5.18. Cobertura Nodo Arenal . . . . .	63
5.19. Cobertura Nodo Época . . . . .	64
5.20. Cobertura Nodo Paucarbamba . . . . .	66
5.21. Cobertura Nodo Mall del Río . . . . .	67
5.22. Cobertura Nodo Control Sur . . . . .	68





# Índice de tablas

2.1. Distribución de clientes con servicio FTTH en Ecuador . . . . .	13
3.1. Tipos de fibras OM y OS . . . . .	19
3.2. Código de colores para Fibra Óptica (TIA/EIA-598) . . . . .	20
5.1. Valores de Potencia . . . . .	40
5.2. Características equipos OLT . . . . .	44
5.3. Pérdidas Teóricas del Diseño . . . . .	45
5.4. Pérdida de Potencia Total por los elementos de red para servicios de VoIP y datos . . . . .	47
5.5. Pérdida de Potencia Total por los elementos de red para servicio video broadcast . . . . .	50
5.6. Pérdida de Potencia Total a una distancia de 4 Km . . . . .	50
5.7. Cálculo pérdidas ópticas . . . . .	53
5.8. Rutas de Tendido de Fibra Cuenca . . . . .	55
5.9. Proyección de Ventas del primer año . . . . .	69
5.10. Resumen Proyección de Ventas Anual . . . . .	70
5.11. Inversión Inicial . . . . .	70
5.12. Inversión Elementos Activos . . . . .	70
5.13. Inversión Elementos Pasivos . . . . .	71
5.14. Costos por construcción . . . . .	71
5.15. Inversión de Costos Variables Anuales . . . . .	72
5.16. Inversión Anual por periodo . . . . .	72
5.17. Tiempo de Recuperación de la Inversión . . . . .	73



Yo, Víctor Fabián Heredia Sandoval, autor de la tesis "Diseño de una Red FTTH para la Utilización de Servicios de los Operadores de Telecomunicaciones en la Ciudad de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 1 de noviembre de 2016.



Victor Fabián Heredia Sandoval

C.I: 050157394-3



Yo, Víctor Fabián Heredia Sandoval, autor de la tesis "Diseño de una Red FTTH para la Utilización de Servicios de los Operadores de Telecomunicaciones en la Ciudad de Cuenca", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Magister. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 1 de noviembre de 2016



---

Víctor Fabián Heredia Sandoval

C.I: 050157394-3





# Abreviaciones y Acrónimos

**AES** *Advanced Encryption Standard.* 10

**APON** *ATM PON.* 7

**ATM** *Asynchronous Transfer Mode.* 7

**CATV-RF** *Community Antenna Television - RF.* 10

**CD** *Caja de Dispersión.* 52, 53

**CWDM** *Coarse Wavelength Division Multiplexing.* 18

**DWDM** *Dense Wavelength Division Multiplexing.* 18

**EERCS** *Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A..* 38

**FEC** *Forward Error Correction.* 10

**FSAN** *Full Service Access Network.* 7, 9

**FTTB** *Fiber-To-The-Business.* 4, 13

**FTTC** *Fiber-To-The-Curb.* 4

**FTTH** *Fiber To The Home.* 1–5, 7, 8, 11, 13–15, 17, 26, 28–30, 32–35, 37, 45, 46, 52, 54, 69, 76

**FTTN** *Fiber-To-The-Node.* 4

**FTTx** *Fiber-To-The-x.* 3–5

**GEM** *GPON Encapsulation Method.* 10

**GPON** *Gigabit PON.* 1, 9, 10, 40, 75, 76

**INEC** *Instituto Nacional de Estadística y Censos.* 37

**IP** *Internet Protocol.* 10, 11, 29

**IPTV** *Internet Protocol Television.* 11, 25

**ITU-T** *ITU Telecommunication Standardization Sector.* 40

**LAN** *Local Area Network.* 18, 19



- LED** *Light-Emitting Diode.* [21](#)
- MDU** *Multi Dwelling Unit.* [7](#)
- NGN** *Next Generation Network.* [8](#)
- ODF** *Optical Distribution Network.* [26–28](#)
- ODN** *Optical Distribution Network.* [6, 7, 9, 25](#)
- OLT** *Optical Line Termination.* [6, 7, 25, 26, 35, 40, 42, 44, 45, 47, 48, 52, 53, 69, 72](#)
- OLTS** *Optical Loss Test Set.* [21, 22](#)
- OM** *Optical Multi-mode.* [18](#)
- ONT** *Optical Network Termination.* [6, 7, 9, 11, 25, 26, 40, 43, 45, 47, 48, 52, 69, 72](#)
- ONU** *Optical Network Unit.* [6, 9](#)
- OS** *Optical Single Mode.* [18](#)
- OSI** *Open System Interconnection.* [29](#)
- OTDR** *Optical Time Domain Reflectometer.* [21](#)
- P2MP** *Point to Multipoint.* [6](#)
- P2P** *Point to Point.* [5, 9](#)
- PON** *Passive Optical Network.* [1, 6–11, 25, 35, 41](#)
- TDM** *Time Division Multiplexing.* [9](#)
- TIR** *Tasa Interna de Retorno.* [73](#)
- VAN** *Valor Actual Neto.* [73](#)
- VoD** *Video on Demand.* [48](#)
- WDM-PON** *Wavelength Division Multiplexing PON.* [9](#)





# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Justificación

Actualmente Internet es la mayor fuente de información, además, logra una comunicación global que rompe las barreras de la distancia en los diferentes sitios del mundo. Para llegar a los lugares más remotos de la tierra, ha sido necesario innovar los medios físicos de transmisión y la fibra óptica es el medio más efectivo que se tiene en este momento. Gracias a su capacidad de transmisión, ha alcanzado a soportar mayor despliegue de ancho de banda en localidades lejanas, enviando una gran cantidad de datos a grandes distancias. De igual forma, la fibra óptica realiza la comunicación a altas velocidades sin tener que preocuparse de las interferencias electromagnéticas por su contextura de fabricación; hoy en día, también se usan cables de fibra óptica para redes locales.

El presente estudio considera una red **FTTH** para brindar servicios de banda ancha con una mejor calidad de servicio y un mayor ancho de banda. Actualmente, estos tipos de servicios están siendo considerados como una parte fundamental de la nueva sociedad digital.

### 1.2. Definición del Problema

Las redes de telecomunicaciones, de empresas públicas y privadas en sectores urbanos de la ciudad de Cuenca, no cuentan con un medio de acceso idóneo acorde al contexto. Debido a esto, surge la necesidad de proponer el despliegue de redes de comunicaciones ópticas, mediante la interconexión de una red **PON** punto a punto, basada en tecnología *Gigabit PON(GPON)*.



## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo General

Proponer el despliegue de una Red **FTTH** para la ciudad de Cuenca que permita mejorar las comunicaciones, tanto para empresas públicas como privadas.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Dar a conocer esta nueva tecnología en cableado, la misma que se ajusta a las necesidades técnicas actuales.
- Proponer la implementación de una red **FTTH** capaz de cubrir la ciudad de Cuenca, considerando las normas y estándares técnicos basados en esta tecnología.
- Cumplir con los estándares establecidos por las instituciones públicas, para el tendido de cables en la urbe.

## 1.4. Alcance

El presente trabajo pretende realizar el diseño de una red de fibra óptica **FTTH** para su uso en la ciudad de Cuenca, la misma que servirá para cubrir las necesidades actuales de los ciudadanos con respecto a la tecnología moderna como son los servicios de voz, datos, video (*Triple-Play*); además, el diseño tomará en cuenta el despliegue de la red optimizando los recursos, cumpliendo los estándares técnicos para su implementación.



## Capítulo 2

# Generalidades

Este capítulo está constituido por temas referentes a la evolución de las telecomunicaciones, se describe la tecnología de red de acceso **FTTx** y sus diferentes tipos, concretamente el tipo de red **FTTH** y sus servicios; se detalla aspectos concernientes a una red óptica pasiva; la situación actual referente a las Redes **FTTH** en el mundo.

### 2.1. Evolución de las telecomunicaciones

Con el transcurso del tiempo, las telecomunicaciones han tenido grandes cambios, especialmente al lograr enviar información a grandes distancias mediante sistemas de cableado de fibra óptica, que también se han ido transformando acorde a las investigaciones que han aportado para mejorar su uso.

John Tyndall, y el hindú Narinder Singh Kapany encontraron un material por donde la información es capaz de transmitirse. Así pues, llegó a la conclusión de que un grupo de ondas de luz emitidas puede transmitirse gracias a las reflexiones del haz de luz sobre el material. A mediados del siglo *XX*, Sir Charles Kuen Kao, basándose en los estudios anteriores, indicó que la atenuación de la fibra óptica no debía ser superior a los  $20 \text{ dBm}$  por kilómetro en el uso de transferencia de información.

Gracias a los aportes de estos científicos, las comunicaciones fueron tomando más impulso, la transferencia de información estaría, fundamentalmente, basada en el viaje de luz por el vidrio. Sin embargo, la elaboración del cableado para asegurar la cubierta de la fibra tuvo su proceso de mejora. En el año 1970 Corning Glass realizó fibras con atenuaciones de  $0.5 \text{ dB/Km.}$ , agregado el trabajo de Laboratorios Bell, en relación al Láser capaz de funcionar a temperatura ambiente, han logrado robustecer las telecomunicaciones por cableado de fibra óptica. En 1977, *General Telephone and*



*Electronics* ejecutó la primera transferencia telefónica a partir de fibra óptica con una tasa de transmisión de 6 *Mbps* (Joskowicz, 2008).

La fibra óptica ha pasado por un proceso evolutivo para llegar a ser un indicador de señales ópticas que puede encaminar la luz, inclusive, en un recorrido curvilíneo. Actualmente, según (Santa Cruz, 2013), las comunicaciones por fibra óptica se han perfeccionado a gran medida, ya que la fibra óptica ha logrado romper las barreras de distancia, cruzando inclusive los océanos del planeta, hasta se han reemplazado los cables de cobre que en un principio eran utilizados en redes locales. En las ciudades se forman grandes redes tratando de abarcar, geográficamente, los lugares más lejanos posibles, y servir a los hogares para el uso de Internet.

## 2.2. Tecnología de red de acceso FTTx

La tecnología FTTx es un término genérico utilizado para distinguir cualquier acceso para proporcionar mayor ancho de banda a los usuarios u hogares, basados en fibra óptica. El acrónimo FTTx es empleado para distinguir los diferentes alcances por fibra óptica. Los principales tipos de tecnología FTTx son:

- **Fiber-To-The-Business(FTTB)**: Fibra hasta el negocio. Este tipo de tecnología se basa en la instalación de un punto externo del edificio de la empresa, sea al interior o en las inmediaciones, desde ahí repartir la fibra al resto de lugares.
- **Fiber-To-The-Curb(FTTC)**: Fibra hasta la acera. Consiste en situar el cable de fibra que se instala desde el nodo u oficina más cercana hasta el pedestal, desde el cual se distribuirá mediante un divisor óptico, a las casas o edificaciones más cercanas.
- **Fiber To The Home(FTTH)**: Fibra hasta el hogar. Es el sistema de cables de fibra que llegan hasta las viviendas de los usuarios. El presente trabajo se fundamenta en esta tecnología, pues se centra en el área residencial, por lo que, se hablará en más detalle en la Sección 2.3.
- **Fiber-To-The-Node(FTTN)**: Fibra hasta el nodo. Es aquel cable de fibra que inicia en el nodo del operador, en el cual se centraliza cierta parte de equipamiento para lograr repartir el servicio. Generalmente, este nodo repartidor está ubicado a cierta distancia, dependiendo del equipamiento a utilizar (Keiser, 2006).

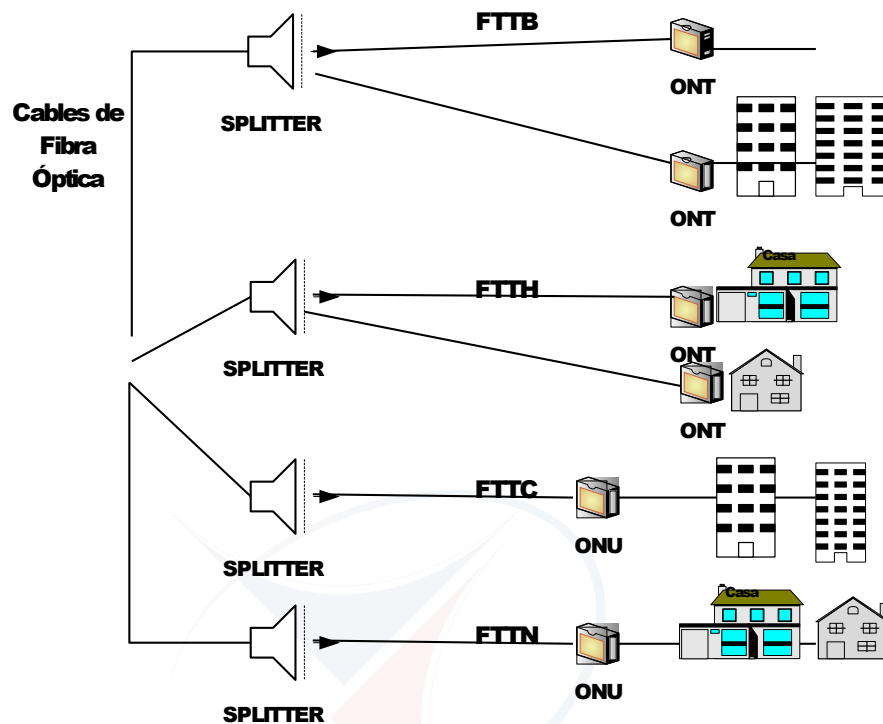


Figura 2.1: Escenarios FTTx

### 2.3. Fibra hasta el hogar (FTTH)

Debido al requerimiento de usuarios de Internet de banda ancha, las redes FTTH han ido evolucionando. Entre las características de una red FTTH están: alta velocidad de transmisión (mayor a 1 Gbps), banda ancha por usuario mayor a 100 Mbps, tasa de datos simétrico, acceso con una sola fibra, mayor alcance en kilómetros, alta capacidad de actualización, manejo del sistema centralizado, asignación dinámica de recursos y protección básica incorporada.

Esta tecnología soporta alta cantidad de contenidos y calidad superior en videos, canales HD, uso de almacenamiento en la nube, etc. Es decir, los beneficios de *triple-play* desde el hogar.

Existen dos formas de distribución que se aplican en una arquitectura FTTH: Punto a Punto o Centralizada, y Punto a Multipunto o en Cascada. El tipo de fibra a emplearse obedece, en gran medida, al tipo de distribución utilizada, ya que, ésta influye en los sitios de la red donde se separa la fibra. La repartición de los divisores ópticos o *splitters* y la distancia son factores influyentes en la expansión de la misma.

La distribución Punto a Punto llamada también *Point to Point(P2P)*, se basa en

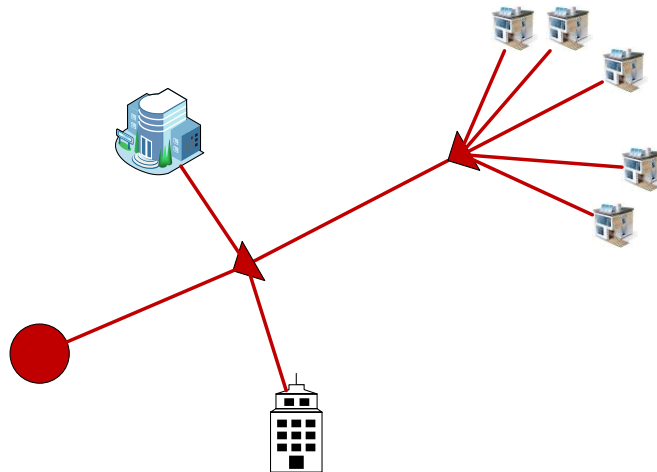


Figura 2.2: Fibra P2MP  
FUENTE: [Committee \(2014\)](#)

la arquitectura *Optical Distribution Network*(ODN), una fibra inicia desde el nodo central y llega directamente al usuario final. Cada usuario posee un enlace directo a la oficina central, con una fibra que va hasta el lugar de conexión del usuario. La ruta que empieza en la oficina central consiste de varias secciones. La fibra se unirá con empalmes o conectores, ésta proporciona un camino óptico continuo desde el nodo a la casa. Sin embargo, este ejemplo de distribución es costoso por su mayor despliegue.

La configuración Punto a Multipunto, o *Point to Multipoint*(P2MP), proporciona una sola fibra alimentadora, que sale desde la oficina central o nodo repartidor, a otro de ramificación y desde allí al usuario. En los puntos de ramificación se usa un dispositivo óptico pasivo conocido como divisor óptico (*splitter*). Esta configuración también es llamada red PON, debido al empleo de estos dispositivos.

## 2.4. Red Óptica Pasiva (PON)

Es una red punto a multipunto que se distribuye desde una conexión de fibra desde la oficina central hasta la vivienda de cada usuario, usando elementos pasivos de red. Permite acceso compartido desde un solo terminal óptico OLT (Optical Line Terminal). Puede brindar servicio a varios usuarios conectados cada uno a un dispositivo ONT, o también a un *Optical Network Unit*(ONU) ([Kwon et al., 2006](#)). La red PON consiste en la división de una señal óptica, los datos de dicha señal se distribuyen de manera constante, ejecutándose una repartición de potencia, usando un *splitter*. En las redes PON, no está involucrado ningún factor activo en medio del OLT y del ONT.



### 2.4.1. Componentes de una Red PON

Para transmitir en una red PON, existen ciertos elementos pasivos que se relacionan para efectuar su trabajo en modo de difusión (*broadcast*) por medio de los *splitters*, estos componentes son:

- **Equipo Concentrador (OLT):** se localiza en el nodo o repetidora, su principal función es proveer enlaces de fibra óptica hacia la red del operador, y a las conexiones de fibra óptica que se instalan a los usuarios.
- **Equipos Terminales de Red (*Multi Dwelling Unit*(MDU)):** estos equipos se instalan, generalmente, en la distribución de la red, su función es proveer interfaces de fibra óptica hacia la red ODN, y proveer interfaces hacia los usuarios.
- **Equipos Terminales de Usuario (ONT):** equipo que se instala el usuario, su función es proveer interfaces de fibra óptica hacia la red ODN, y proveer interfaces a los usuarios.

Otros componentes dentro de la red son la fibra óptica, los *splitters*, los empalmes, y los conectores.

### 2.4.2. Tipos de Tecnologías de redes PON

Las tecnologías tipo PON, generalmente, están normalizadas bajo las normas ITU-T G.983, que se elaboraron para el tratamiento e implementación de redes PON. Esta norma fue definida por el Comité *Full Service Access Network*(FSAN), basado en el estándar *Asynchronous Transfer Mode*(ATM), que emplea el protocolo de señalización de Capa 2, capa de enlace, haciendo que la primera tecnología de este tipo tome el nombre de red *ATM PON*(APON).

- **APON (ATM PON):** usa el protocolo ATM como portador. APON se ajusta a diferentes construcciones de redes FTTH. La forma de operación de la red APON se da por un traspaso de datos a partir de descargas de celdas ATM (53 bytes). Estas ráfagas transmiten una cantidad de bits de 152.2 Mbps, repartidos entre los equipos ONT conectados al nodo óptico.
- **BPON (Broadband PON):** es una tecnología basada en APON, es una mejora de la misma, precisa un diseño de forma proporcionada en relación a las velocidades de transmisión que son las mismas (155 Mbps); sin embargo, se consiguió un aumento en las velocidades de transmisión (155 Mbps de subida y 622 Mbps de bajada), con arquitecturas asimétricas.

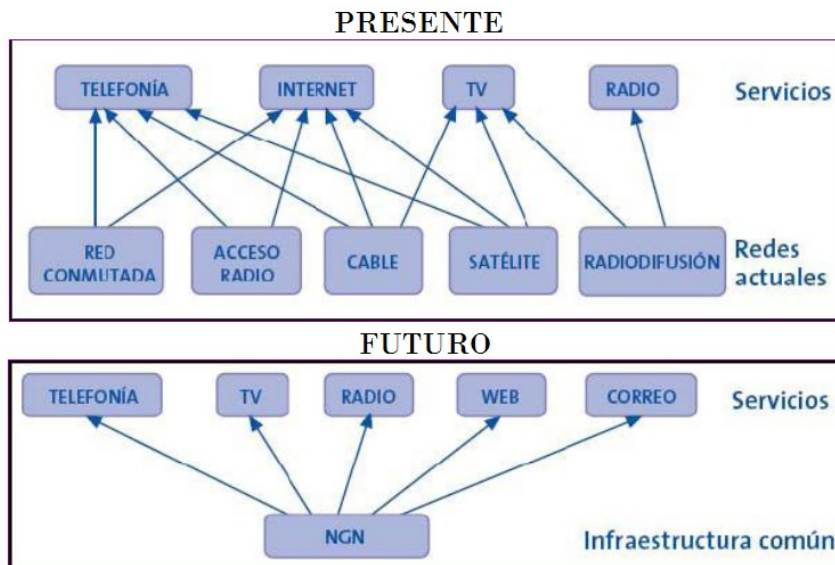


Figura 2.3: Presente y Futuro de las redes NGN

FUENTE: Uzcátegui & Triviño (2011)

- **EPON (Ethernet PON):** provee una velocidad de hasta 1 *Gbps* de traspaso de información, tanto en subida como bajada. Posee mecanismos de mantenimiento en la red, además de transportar datos en tiempo real, generalmente es considerado óptimo para un tipo de red multipunto, utilizando *splitters* y multiplicación de gran longitud de distancia.
- **GPON (Gigabit PON):** proporciona una velocidad de transferencia de hasta 1.25 *Gbps* (velocidades simétricas) o de hasta 2.5 *Gbps* para el canal descendente (velocidades asimétricas), tema que se detalla mejor posteriormente (ITU-T, 2009).

### 2.4.3. Redes PON de nueva generación

Las redes de nueva generación (NGN), son las mismas que usan los estándares ITU 2008, tienen como función principal ofrecer varias aplicaciones en los servicios de voz, datos, y video, optimizando la operación de la red y asegurando el tráfico en la misma, es decir una red multi-servicio. La tecnología PON se ha transformado en el mejor recurso para redes FTTH. La Figura 2.3 muestra de manera esquemática el presente y futuro de las redes NGN.

La evolución de las redes PON está siendo gestionada y estandarizada por la ITU-T



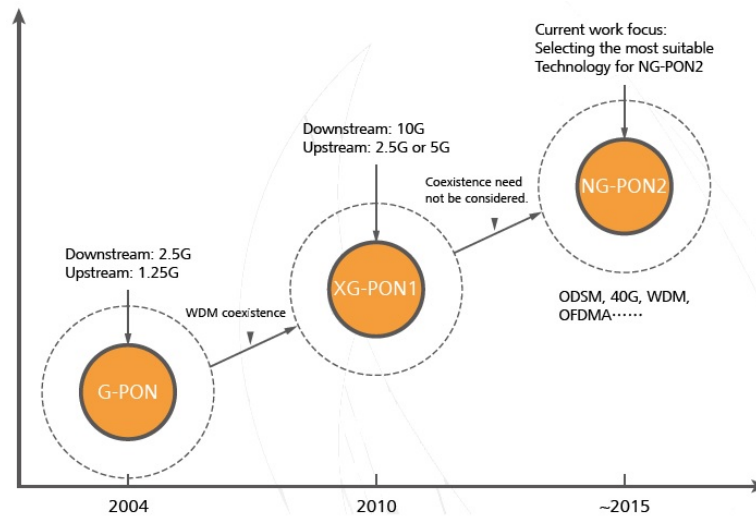


Figura 2.4: Generación PON por FSAN

FUENTE: Huawei (2012)

y la FSAN, éstas indican que la nueva generación PON se divide en dos fases:

- **NG-PON1:** requiere de una capacidad más alta, un alcance más largo, más capacidad de banda ancha para más usuarios. Actualmente, NGPON-1 ha definido su capacidad máxima en 10 Gbps de bajada y 2.5 Gbps de subida, en topología GPON, de esta manera se puede indicar que las necesidades de los beneficiarios actuales están cubiertas, aunque cada día hay más necesidad de ocupar mayor velocidad y ancho de banda. En realidad, NGPON-1 no es otra cosa que *Time Division Multiplexing*(TDM), en PON.
- **NG-PON2:** se presenta como un recurso a largo plazo, ya que está en proceso de investigación. Dentro de esta tecnología se cita al *Wavelength Division Multiplexing* PON (WDM-PON) o multiplexación por división de longitud de onda PON, en esta tecnología la división de la longitud de onda (Multiplexar/Demultiplexar) se opera en el ODN. La transmisión de la señal en WDM-PON es similar a la transmisión punto a punto (P2P). La diferencia es que WDM-PON está fundamentada en el aislamiento de longitudes de onda diferentes en la misma fibra óptica. Es decir, WDM-PON es una topología Punto-Multipunto Lógica. Cada ONU u ONT en WDM-PON posee los recursos de banda ancha de una longitud de onda específica.

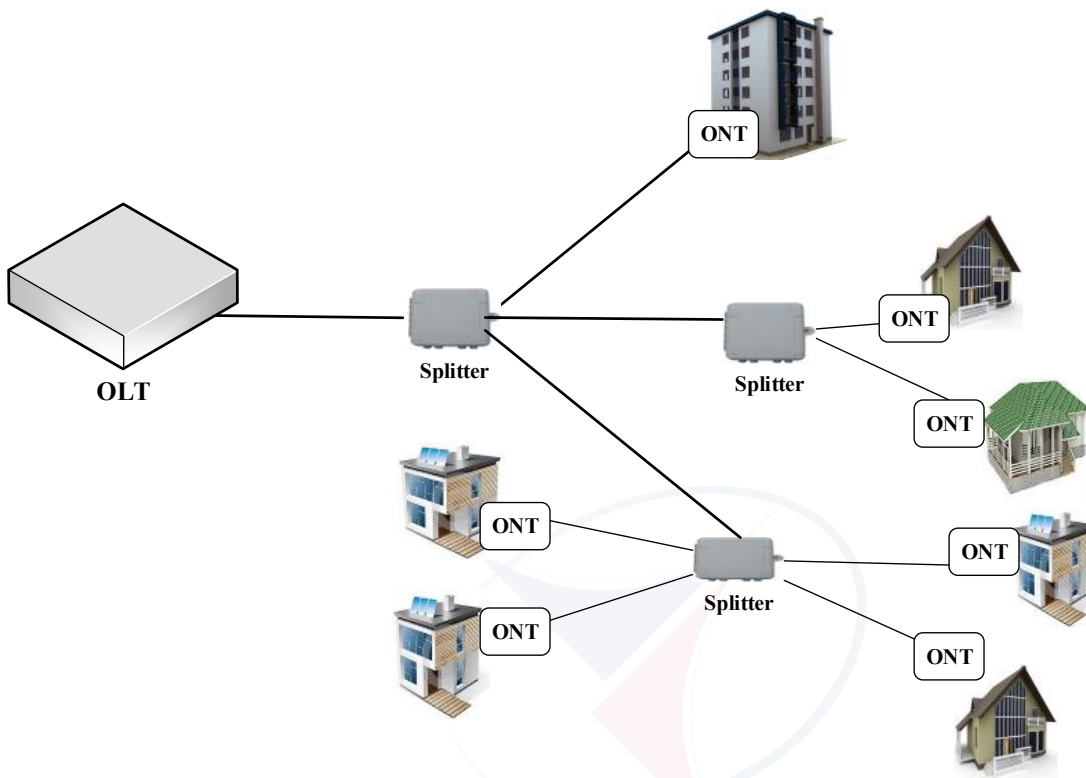


Figura 2.5: Infraestructura GPON

## 2.5. Tecnología GPON

*Gigabit PON(GPON)*, posee mayor capacidad de soporte de ancho de banda, con una velocidad de transmisión de  $2.48 \text{ Gbps}$  en el canal de bajada y de  $1.24 \text{ Gbps}$  en el canal de subida. De esta manera, cada usuario puede tener velocidades de hasta  $100 \text{ Mbps}$ . Aprobada por los estándares ITU-T G.984, en sus 4 recomendaciones: G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4. Una de sus ventajas es lograr una mayor eficiencia en los servicios basados en IP. Posee su propio método de encapsulamiento *GPON Encapsulation Method(GEM)* que ofrece una mayor flexibilidad (Lattanzi & Graf, 2008). Sus principales características son: una tasa de transmisión de subida y bajada de  $1.2 \text{ Gbps}/2.4 \text{ Gbps}$ , un nivel de Splitteo de 1:64, una eficiencia del 93% para todos los tipos tráfico de servicios, permite el envío de señales *Community Antenna Television - RF (CATV-RF)*, suministra un estándar para la resguardo de los puertos PON, provee seguridad en el tráfico de bajada por medio de *Advanced Encryption Standard (AES)*, y finalmente, provee un mecanismo de corrección de errores por *Forward Error Correction (FEC)*, (ITU-T, 2003).



## 2.6. Servicios

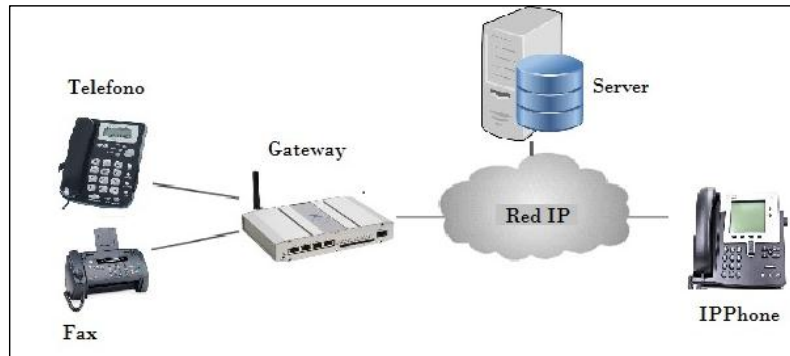
Los servicios de voz, datos, video, también conocidos como *triple-play*, son más una nomenclatura orientada al modelo de negocios y no a soluciones técnicas como tal, realmente la finalidad es ofrecer estos servicios en la misma infraestructura, basada en **IP** para brindar los mismos. Los servicios de video y datos son servicios considerados de banda ancha y el servicio de telefonía de banda angosta.

*Triple-Play* toma la definición de servicio combinado, donde no se pretende definir nuevos estándares o protocolos tecnológicos, sino más bien, una estrategia de negocio que presenta en el aspecto comercial un paquete de servicios, y una afinidad tecnológica, que refiere a una red **IP** concentrada para entregar los servicios mencionados.

La tecnología **PON**, permite reducir la inversión gracias al uso de elementos pasivos. En el lado del cliente se coloca solamente un equipo **ONT** que servirá para los servicios de TV, telefonía e Internet. Una red **FTTH** utiliza canales separados para la transmisión de audio y video.

Por ejemplo, el servicio más empleado es el *Internet Protocol Television (IPTV)*, comprende canales digitales, música, programación de eventos por pagos, grabación personalizada, y servicios de información. El servicio se presentará en la pantalla como una guía similar a la TV actual por cable.

**Sharma & Garg (2015)** recoge una muestra de 156 usuarios de red **PON** con servicio *triple-play* a 20 km de distancia, con una velocidad de datos de 10 Gbps como máximo.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
*desde 1867*

Figura 2.6: VoIP



## 2.7. Ranking Global FTTH a nivel mundial

Varios países están adoptando las redes FTTH para distribuir Internet hasta los lugares más remotos. En el documento *FTTH Conference 2016 Event Report* (FTTH Council Europe, 2016), se mencionan los beneficios que representa tener fibra en los hogares, y también las ventajas con respecto al cuidado del entorno ambiental, el beneficio económico de las naciones, e inclusión de los ciudadanos en la actualidad tecnológica.

*FTTH Council Europe* es una organización que posee estadísticas de la introducción de red FTTH a nivel mundial, cuya misión es acelerar la disponibilidad de redes de acceso de alta velocidad, basadas en fibra óptica para beneficio de la comunidad.

*FTTH LATAM (2016)* (LATAM, 2016), muestra las estadísticas (ver 2.7) de tasa de penetración en los hogares de los países que han considerado en su economía la implementación de FTTH y *Fiber-To-The-Business*(FTTB) de al menos el 1%.

En Ecuador el nivel de implementación de FTTH es del 2%, y está posicionado en el *ranking* 47 de esta clasificación. Las cifras de abonados que utilizan servicio con tecnología FTTH son, todavía, bajas según el *FTTH Council LATAM*, la repartición de empresas que brindan este servicio hasta el año 2014, se muestra en la Tabla 2.1.

Datos FTTH/B	A Diciembre 2014	
	Abonados	Casas
<b>Total de FTTH/B en Ecuador</b>	<b>64,500</b>	<b>360,000</b>
CNT	2,000	30,000
Netlife	60,000	300,000
Otros	2,500	30,000

Tabla 2.1: Distribución de clientes con servicio FTTH en Ecuador  
FUENTE: FTTH Council LATAM (2015)

## FTTH/B Panorama - Global Ranking September 2015



Household Penetration of countries\* with more than 1% household penetration \*Economies with at least 200,000 households  
 Source: FTTH Global Alliance, February 2016 - www.ftthcouncil.eu

### Map



### Graph

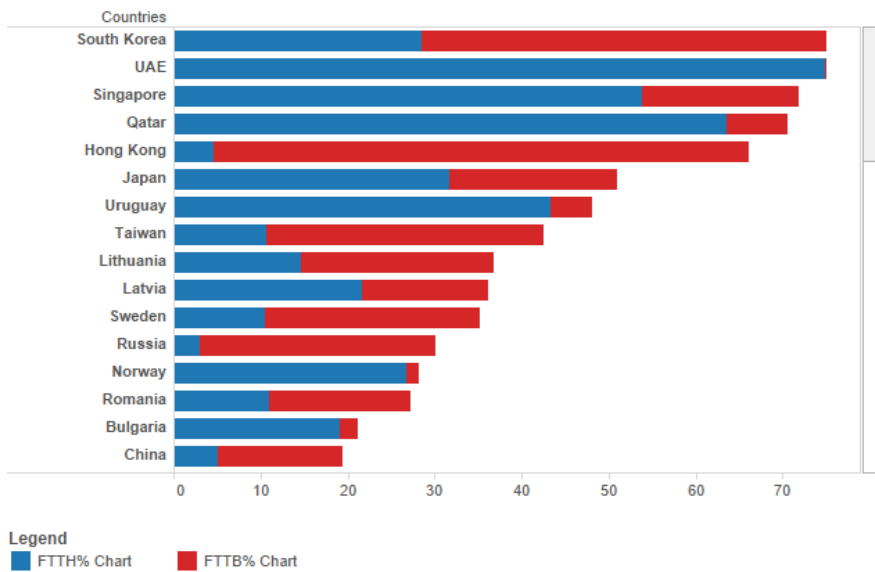
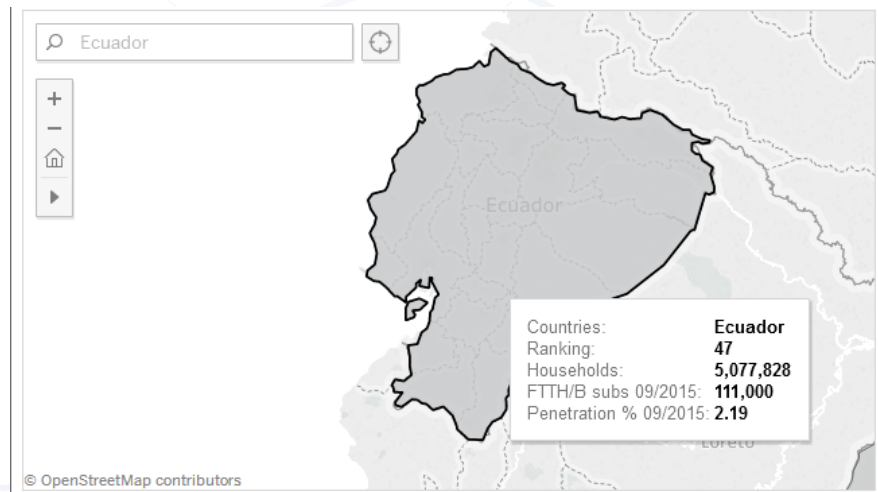


Figura 2.7: Penetración de la Tecnología FTTH a nivel Mundial



desde 1867  
Figura 2.8: Ranking Ecuador [FTTH](#)



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
*desde 1867*





## Capítulo 3

# Aspectos Tecnológicos, Equipamiento

En este capítulo se incluyen temas relacionados con los aspectos tecnológicos tales como la fibra óptica, sus tipos y características, ventajas y desventajas de su uso. El equipamiento a utilizar en la infraestructura de la red **FTTH**, y los elementos que conforman la misma.

### 3.1. La fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión que permite mediante el guiado de una onda de luz transmitir información, a gran velocidad y a grandes distancias. Está compuesta del núcleo, el revestimiento óptico, y la cubierta de plástico. Tanto el núcleo como el revestimiento están compuestos por materiales como el sílice, cuarzo fundido o plástico. El núcleo y el revestimiento se diferencian por los dopantes que se agregan a los materiales antes mencionados, y que permiten que tengan diferentes índices de refracción. El diámetro del núcleo suele ser de 50 o 62.5  $\mu\text{m}$  para la fibra multimodo, y de 9  $\mu\text{m}$  para la fibra monomodo.

#### 3.1.1. Tipos de Fibra Óptica

Existen dos tipos de fibra óptica: multimodo y monomodo. En la fibra multimodo se propagan varios modos o trayectorias de manera simultánea, al ser el diámetro de la fibra (50 o 62.5  $\mu\text{m}$ ) mayor que la longitud de onda. Existen dos subtipos, la fibra de índice escalonado, y la fibra de índice gradual. Esta última mejora las características

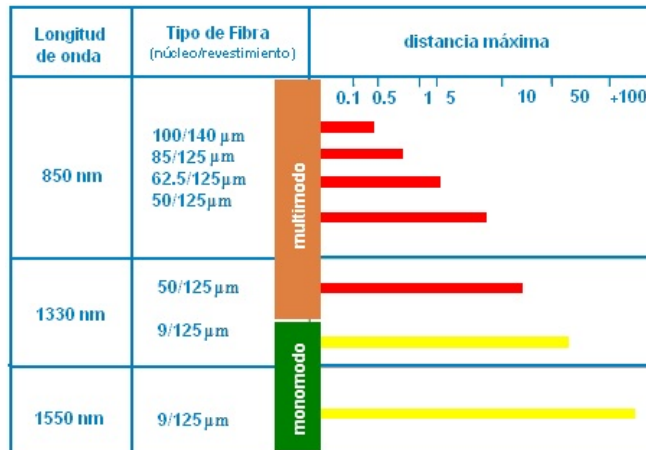


Figura 3.1: Tipo de fibra y su alcance  
FUENTE: Radioenlace (2014)

de transmisión, permitiendo una mayor tasa de transmisión y distancia. Generalmente se usa para redes pequeñas de oficina, sistemas de alarmas, entre otros.

La fibra óptica monomodo propaga la luz en una solo modo o trayectoria, ya que el diámetro de la fibra ( $9 \mu\text{m}$ ) se encuentra en el rango de la longitud de onda. Esta fibra provee mayor capacidad de transporte y mayores distancias de transmisión.

En los tipos de fibra óptica se especifica cierta nomenclatura. El término *Optical Multi-mode (OM)* se usa para la fibra óptica multimodo. La numeración que acompaña se refiere al tipo de núcleo, a la distancia máxima del segmento, a la ventana de operación y al ancho de banda. Las fibras de tipo OM1 son de  $62.5/125 \mu\text{m}$  y las OM2, OM3 y OM4 son de  $50/125 \mu\text{m}$ . El término *Optical Single Mode (OS)*, hace referencia a la fibra óptica monomodo. La numeración se refiere al tipo de núcleo, la distancia máxima del segmento, la ventana de operación y al ancho de banda. En relación a su diámetro, los tipos de fibra óptica más empleados en el mercado son:

- **G652D o 9/125:** Tipo de fibra monomodo. En este tipo de fibra, la utilización de emisores láser es necesaria. Las aplicaciones típicas son *Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)* y *Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM)*, además de ser el más utilizado para distancias largas.
- **62.5/125:** Tipo de fibra multimodo. Utilizado para instalaciones de redes LAN basadas en Ethernet con emisores de diodo láser. Diámetro con estándar de fabricación OM1.
- **G655 (9/125):** Tipo de fibra monomodo, utilizado en la dispersión de  $1550 \text{ nm}$ ,

Fibra óptica y tipo de cable <sup>2</sup>	Longitud de onda (nm)	Atenuación máxima (dB/km)	Ancho de banda modal overfilled mínimo del producto (MHz·km) <sup>1</sup>	Ancho de banda modal efectiva mínimo del producto (MHz·km) <sup>1</sup>
62,5/125 µm Multimodo TIA 492AAAA (OM1)	850 1300	3,5 1,5	200 500	No requerido No requerido
50/125 µm Multimodo TIA 492AAAB (OM2)	850 1300	3,5 1,5	500 500	No requerido No requerido
850 nm Optimizado para láser 50/125 µm Multimodo TIA 492AAAC (OM3)	850 1300	3,5 1,5	1500 500	2000 No requerido
850 nm Optimizado para láser 50/125 µm Multimodo TIA 492AAAD (OM4)	850 1300	3,5 1,5	3500 500	4700 No requerido
Monomodo Interior-Exterior TIA 492CAAA (OS1) TIA 492CAAB (OS2) <sup>1</sup>	1310 1550	0,5 0,5	N/D N/D	N/D N/D
Monomodo Planta interna TIA 492CAAA (OS1) TIA 492CAAB (OS2) <sup>1</sup>	1310 1550	1,0 1,0	N/D N/D	N/D N/D
Monomodo Planta externa TIA 492CAAA (OS1) TIA 492CAAB (OS2) <sup>1</sup>	1310 1550	0,5 0,5	N/D N/D	N/D N/D

Tabla 3.1: Tipos de fibras OM y OS  
FUENTE: Corning Landscape (2010)

reduce distensiones no lineales. Se aplica en redes LAN basadas en Ethernet con emisores de diodo láser.

- **50/125:** Tipo de fibra multimodo, este diámetro de núcleo se corresponde con los estándares de fabricación OM2, OM3 y OM4. Las aplicaciones típicas son de redes LAN basadas en Ethernet con emisores de diodo láser.

## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### 3.1.2. Ventajas y desventajas de la fibra óptica

#### Ventajas:

- Cables con diámetros más pequeños que los cables convencionales
- Su radio de curvatura puede ser menos a 1 cm., siendo más flexible
- Su peso es ligero, dando como resultado un mejor transporte que el cable convencional
- Es inmune a las cargas electromagnéticas, asegurando de esta manera la transmisión
- Permite un paso de ancho de banda muy grande, al momento se habla de capacidades hasta los Ghz, Gigahertz
- Alta confiabilidad para aplicaciones que necesitan garantía en la transmisión de datos

Fibra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tubo	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144

Tabla 3.2: Código de colores para Fibra Óptica (TIA/EIA-598)  
FUENTE: TIA (2014)

- No produce interferencias, el sistema de cableado de fibra óptica pueden compartir ductos con cables eléctricos, no son buenos conductores eléctricos
- Permite el paso de información a grandes distancias, sin tener elementos intermedios debido a su mínima atenuación
- Resistencia a situaciones climáticas

**Desventajas:**

- Equipamiento de transferencia y admisión más costoso que el usado convencionalmente
- Tiempos de solución por rotura de cables más altos
- Costos justificados solo para manejar buen nivel de ancho de banda

**3.1.3. Código de colores en los estándares de fibra óptica**

Según los estándares ANSI/TIA/EIA 598-A (*Optical fiber cable color coding*), se debe agrupar las fibras en 2, 4, 6 o 12 fibras ópticas, teniendo 12 colores de fibra en un cable, cada fibra además puede poseer 12 hilos, llegando a tener cables con una sola fibra y dos hilos, o fibras de 12 con 144 hilos en total.

**3.1.4. Atenuación en la fibra óptica**

La atenuación es el parámetro principal para el cálculo del enlace, se presenta al instante de enviar una potencia óptica, la cual sufre una disminución de potencia en la transmisión en función de la distancia de la fibra. Es decir, mientras más larga sea su distancia y más empalmes existan, la atenuación será mayor. En base a la siguiente formula la atenuación  $A$ , se da por:



$$A = a \cdot L + a_s \cdot x + a_c \cdot y \quad (3.1)$$

dónde:

$a$ : Coeficiente de atenuación del cable de fibra óptica.

$L$ : Longitud del enlace.

$a_s$ : Atenuación media por empalme.

$x$ : Número de empalmes.

$a_c$ : Atenuación media de los conectores.

$y$ : Número de conectores existentes.

También debe predecirse cierto margen para futuras modificaciones que pueden presentarse en el transcurso del tiempo, como son: cortes de fibra óptica, envejecimiento del cable, clima, etc.

Hay que considerar que la atenuación es un medio de cálculo para distancias largas, en donde se puede detectar para su corrección. En distancias cortas, el cálculo en base a la potencia no servirá, debido a que los aparatos electrónicos utilizados, emiten una señal muy fuerte, por lo que es mejor recurrir a otra forma de detección en este caso.

Para la medición de la atenuación se emplea una fuente de potencia óptica (láser o LED), colocada en un extremo, y al otro extremo un medidor de potencia, de esta manera el medidor de potencia indicará la potencia recibida, y por consiguiente la atenuación.

Los aparatos electrónicos comúnmente usados para la medición descrita son el OLTS, y el *Optical Time Domain Reflectometer*(OTDR). El OLTS (Figura 3.2), generalmente se emplea para medir la pérdida de energía óptica de un extremo a otro del enlace. En un extremo se sitúa una fuente de luz estable que se emite constantemente según la longitud de onda utilizada, en el otro extremo un medidor detecta dicha señal. El OLTS nos permite obtener resultados bidireccionales; pero, es necesario contar con uno en cada extremo.

El uso de OTDR (Figura 3.2) es el más común ya que ayuda a identificar y localizar con precisión los eventos de atenuación presentes en una conexión fibra óptica. Este equipo emite señales o pulsos eléctricos de manera continua, y guarda una cadena de incidencias que se presentan por los empalmes, conectores, curvaturas, defectos físicos presentes en la expansión del enlace de fibra óptica. Es decir, analiza el retorno de la señal reflecto-métrica.

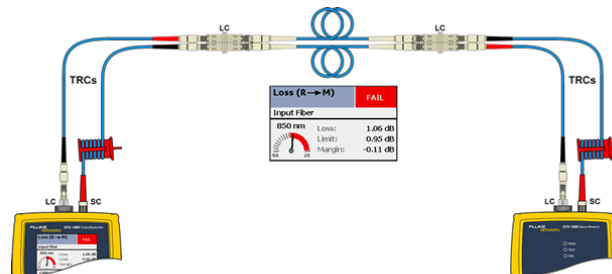


Figura 3.2: Medición de atenuación de fibra con OLTS

FUENTE: [www.flukenetworks.com](http://www.flukenetworks.com)



Figura 3.3: OTDR

FUENTE: [exfo.com](http://exfo.com)

## 3.2. Empalmes

Los empalmes son las uniones de la fibra empleados para distancias largas de los enlaces, la fibra generalmente se distribuye en bobinas de hasta 4 *Km*, siendo la distancia más idónea que se obtiene en la fabricación para la transmisión de datos. Por tratarse de uniones, los empalmes generan pérdida de la señal óptica (Corning, 2013). Existen dos técnicas de empalmes: empalme mecánico y empalme por fusión.

- **Empalmes mecánicos:** se realizan de manera rápida, llamados también empalmes temporales, se rellenan con gel para optimizar el traspaso de luz. Sus atenuaciones son altas (entre 0.2 *dB* y 1 *dB*). Estos empalmes tienen una forma cilíndrica con un orificio central y en sus extremos una especie de llaves para introducir las fibras (Barrera, 2010).
- **Empalmes por fusión:** se realizan mediante un aparato electrónico llamado “fusionadora” o también llamadas máquinas empalmadoras automáticas. Sus atenuaciones se encuentran entre los 0.01 *dB* y 0.1 *dB* (Barrera, 2010).

## 3.3. Conectores ópticos

Se usan en los extremos de la fibra, con el objetivo de que puedan ser conectados a los puertos de los equipos sean estos de transmisión o recepción. Cuando se procede a usar conectores en los extremos se produce una variación en los índices de refracción de la señal. Produciendo una pérdida de la potencia óptica. En fibras monomodo se utilizan el conector llamado *SC* (Figura 3.4), o conector suscriptor.

En la fibra monomodo se emplea un conector *ST* (Figura 3.5), cuyo diseño se centra en los conectores para cables coaxiales.

Otros conectores bastante empleados son:

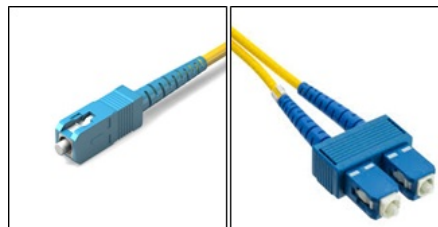


Figura 3.4: Conector *SC Simplex*, *SC Duplex*  
FUENTE: [www.cablewholesale.com](http://www.cablewholesale.com)

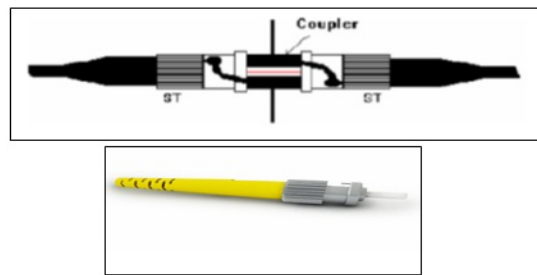


Figura 3.5: Conector *ST*, para empalme mecánico

FUENTE: [www.cablewholesale.com](http://www.cablewholesale.com)



Figura 3.6: Conector *LC*

FUENTE: [www.cablewholesale.com](http://www.cablewholesale.com)

- **Conector LC:** También llamado conector pequeño, es un conector más sofisticado y usado en equipos de comunicación de máxima densidad de datos (Figura 3.6).
- **Conector FC:** Usado también en equipos de medición óptica como OTDR, también en conexiones CATV (Figura 3.7).
- **Conector MTRJ:** Utilizado para interconexión de redes, puede contener dos fibras, generalmente usado en tipos de fibra multimodo (Figura 3.8).



Figura 3.7: Conector *FC*

FUENTE: [www.cablewholesale.com](http://www.cablewholesale.com)





Figura 3.8: Conector *MTRJ*  
FUENTE: [www.cablewholesale.com](http://www.cablewholesale.com)

### 3.4. Infraestructura en redes PON

Una red óptica pasiva no cambia su arquitectura básica, sus componentes siempre serán usados acorde a lo establecido inicialmente en esta tecnología, sus componentes son: un equipo **OLT**, un equipo para transmisión de Video (si es el caso), un cable alimentador (que va desde el nodo hasta el primer *splitter*), los cables de distribución (entre el *splitter* y el **ONT**), y finalmente, un **ONT** que se ubica donde el cliente.

El conjunto de componentes (Figura 3.9) forma el **ODN**. El equipo **OLT** se conecta mediante interfaces a la red de conmutación pública e Internet. La señal de video se conecta por la señal de televisión por cable, usando una interface con el **OLT** en forma de señal digital **IPTV**.

Los **ONT** estarán conectados por medio de un cable de fibra que llega al hogar o local del cliente que es alimentado desde un *splitter*, el equipo **ONT** tendrá los conectores para servicio *Triple-Play*.

El equipo **OLT** provee voz y datos en *downstream* usando la banda de 1490 nm, el

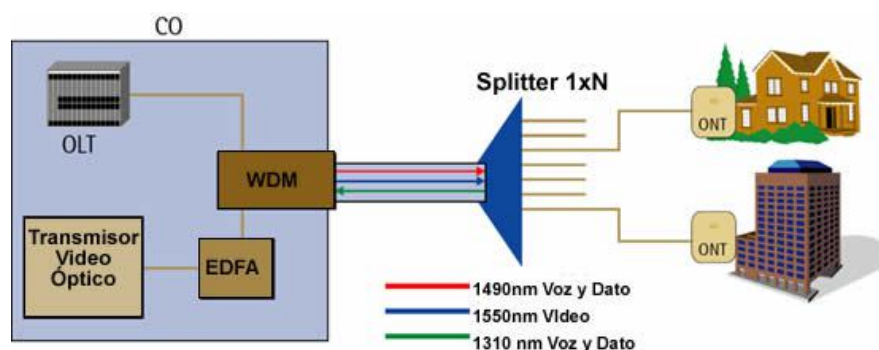


Figura 3.9: Componentes de red **PON**  
FUENTE: [www.lafibraoptica Peru.com](http://www.lafibraoptica Peru.com)

equipo **ONT** provee voz y datos en el *upstream* en la banda de los 1330 *nm*. Para la señal de video se usa la banda de 1550 *nm* ([lafibraopticaperu.com](http://lafibraopticaperu.com), 2012).

### 3.5. Elementos de una red FTTH

Se describe los componentes físicos usados en una red **FTTH**, como son: fibra óptica, armario rack, distribuidor óptico de fibra (**ODF**), conectores, empalmes, patch cords, cajas de empalme, cajas de distribución, *splitters*. Además de los equipos **OLT** y **ONT**.

- **Fibra Óptica:** La fibra a usar es de tipo monomodo, los modelos que se sugieren son los de tipo G.652.D para cualquier tipo de acceso (aéreo y por ducto). Si la instalación es aérea se puede utilizar un cable de 144 hilos de fibra por ejemplo del tipo LSGS-10-OC0251-01\_F8 144c. Para llegar al último tramo, es decir al usuario final, se puede usar el tipo de fibra Drop, como el que ofrece la marca Furukawa.
- **Pedestal (Armario Rack):** Permite organizar la distribución de los terminales ópticos; por ejemplo, el rack de 19 pulgadas que ofrece la empresa RackOnline (Figura 3.10).
- **Distribuidor Óptico de Fibra (ODF):** Facilita la interconexión y organización de los cables de fibra en un rack (Figura 3.11).
- **Conectores:** Encargados de las diferentes conexiones entre los módulos para lograr la conectividad de las conexiones de fibra (Figura 3.12).
- **Empalmes:** También llamadas fusiones realizadas por medio de la “fusionadora” para lograr alcanzar grandes distancias o enlaces que necesitan ser anexados a una conexión a la que acoplara algún dispositivo.
- **Pigtail:** Es un hilo de fibra de un *patch* de fibra, que se fusiona con un hilo del cable de fibra. Se conecta por un adaptador que forma parte del **ODF**, por lo que una sola punta tiene un conector.



Figura 3.10: Armario Rack  
FUENTE: [www.rackonline.es](http://www.rackonline.es)



Figura 3.11: ODF de 3Dnet  
FUENTE: [www.conelectronica.com](http://www.conelectronica.com)

UNIVERSIDAD DE CUENCA  
desde 1927



Figura 3.12: Conector  
FUENTE: [www.conelectronica.com](http://www.conelectronica.com)



Figura 3.13: Caja de empalme  
FUENTE: [www.fiberopticpatch-cord.com](http://www.fiberopticpatch-cord.com)



Figura 3.14: Caja de distribución  
FUENTE: [www.fiberopticpatch-cord.com](http://www.fiberopticpatch-cord.com)

- **Patch cords:** Su función principal es conectar el cable el **ODF** con el equipo activo, generalmente se compone de un hilo de fibra con una chaqueta de 2 mm y 2 conectores en los extremos.
- **Caja de Empalme:** Son usadas para proteger los empalmes realizados, sean estos por fusión o mecánico, estas cajas pueden ser utilizadas para empalmes aéreos, canalizados o enterrados. Posee una o varias bandejas en donde se colocan las fusiones realizadas. Su contextura está hecha de una materia de muy difícil rotura, aunque permiten el cambio de cables (Figura 3.13).
- **Caja de Distribución:** Sirve para segmentar la red **FTTH** de un hilo a varios, es decir el mismo concepto que una caja de empalme con la diferencia de la segmentación, puede emplearse para segmentar en primer nivel o a nivel de hogares (Figura 3.14).
- **Splitter:** Es un módulo que toma una señal de fibra, y la divide en múltiples señales. Es decir, una señal de entrada y para la salida puede dividirse en 2, 4, 8, 12, 16 ramas de salida. Los más usados son *splitters* de 1 a 8, 1 a 16. Generalmente se colocan en bandejas de *splitter* (Figura 3.15).
- **Equipo OLT:** Equipo encargado de transmitir la señal a los beneficiarios conec-

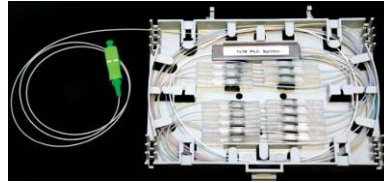


Figura 3.15: Bandeja y *splitter*  
FUENTE: [www.conelectronica.com](http://www.conelectronica.com)

tados al mismo, se puede indicar que es una especie de enrutador de servicios.

- **Equipo ONT:** Es el equipo en donde recibirá el servicio el cliente, generalmente posee puertos para recibir los servicios *Triple-Play*, además de puertos Ethernet para su conexión.

### 3.6. Niveles de una red FTTH

Hoy en día no existe una definición exacta de los niveles de una red FTTH, excepto a nivel físico. Pero existen ciertas definiciones parecidas al Nivel OSI, así como se muestra en la Figura 3.16, (Galeano Corchero, 2009).

Se tienen cinco niveles en esta definición de red FTTH, los niveles de soporte, físico, transmisión, IP, y finalmente el de aplicación. A continuación, se detallan cada uno de ellos.

- **Nivel de soporte:** también se le denomina nivel de conductos. Es el nivel más bajo de la red física e incluye todos los conductos necesarios de la misma, especificando las dimensiones estándar, estructuras metálicas, torres, etc. En donde el propietario de la red es generalmente el encargado de este nivel.
- **Nivel físico:** incluye toda la infraestructura física en relación a medios y canales de transmisión. Contiene los cables ópticos, productos de fibra soplada<sup>1</sup>, fibra oscura y antenas transmisoras.
- **Nivel de transmisión:** son todas las conexiones lógicas establecidas por encima del nivel físico, es decir, hace referencia a las conexiones de transmisión entre nodos, permitiendo la buena función de la red.
- **Nivel IP:** se refiere al servicio de Internet ofrecido por el operador de red hasta el usuario final, y en el que quedan definidos los enrutamientos entre usuarios.

<sup>1</sup>Es una técnica avanzada de instalación de cables en ductos, subconductos y microductos, aprovecha la presión ejercida por un fluido para efectuar el empuje del tendido del cable de fibra ([www.focfibra.com](http://www.focfibra.com))

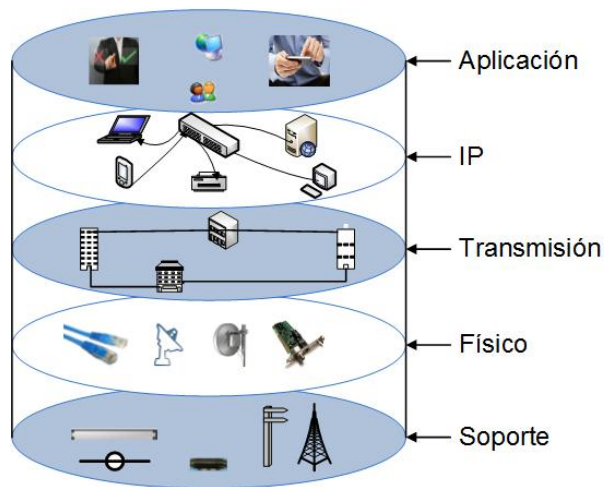


Figura 3.16: Niveles de una Red FTTH  
FUENTE: Galeano Corchero (2009)

- **Nivel de aplicación:** es el nivel más próximo al usuario final. En él se incluye el equipamiento de usuario, es decir, el hardware, el software, los programas y la información descifrada.

### 3.7. Áreas de despliegue de una red FTTH

El área en donde se desplegará la red FTTH está conformado por conjuntos residenciales, edificios, villas o viviendas que se distribuyen en la ciudad, podemos detallar las siguientes:

- **Áreas multifamiliares:** Consiste generalmente en diversos propietarios (que serán usuarios finales) distribuidos en varias plantas por bloque de un edificio. Generalmente este tipo de viviendas están en una área entre 100 y 1000 metros, y con un número de viviendas que pueden estar entre un número máximo de 30 departamentos en un edificio, señalan (Nilsson-Gistvik et al., 2007). El nodo de acceso se conectará directamente al nodo principal de la comunidad a través del nodo de distribución, tal como se muestra en la Figura 3.17.
- **Áreas con viviendas tipo villa:** Los nodos de acceso que dan servicio a las áreas con viviendas unifamiliares, suelen localizarse en sectores apropiados. En estos casos se debe establecer un enlace de conexión con un par de fibra entre cada vivienda y el nodo de acceso. El tamaño de la red de acceso se encuentra limitada por el despliegue técnico o de la proyección inicial, y el tamaño del nodo

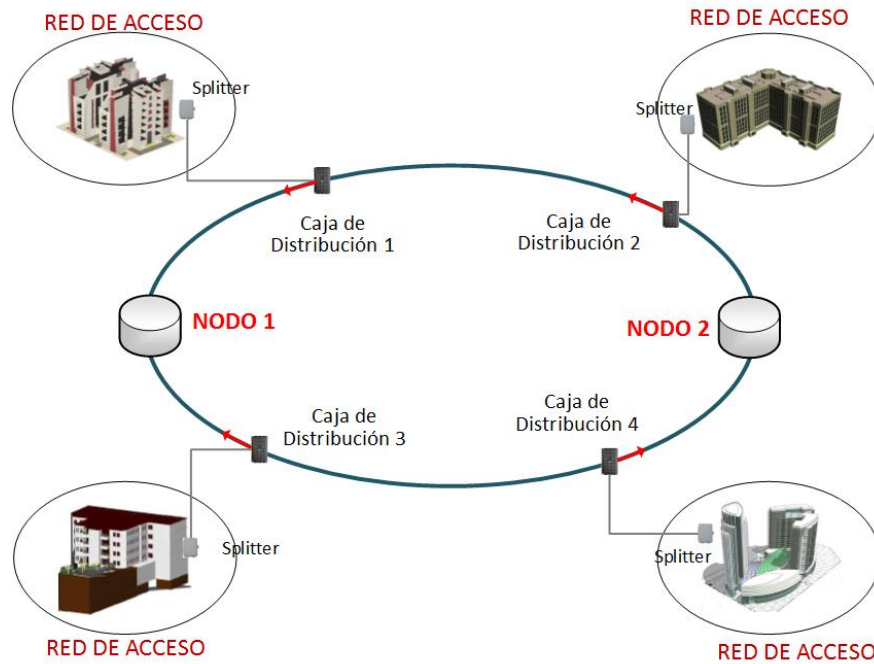


Figura 3.17: Red de viviendas multifamiliares  
FUENTE: Nilsson-Gistvik et al. (2007)

de acceso determinará el número de usuarios que pueden conectarse al sistema. En sí, la idea es tener una caja de dispersión, la misma que permitirá distribuir el servicio alrededor de dos manzanas de la misma, es decir 32 viviendas por caja de distribución, utilizando el menor número de empalmes. Como se muestra en la Figura 3.18.

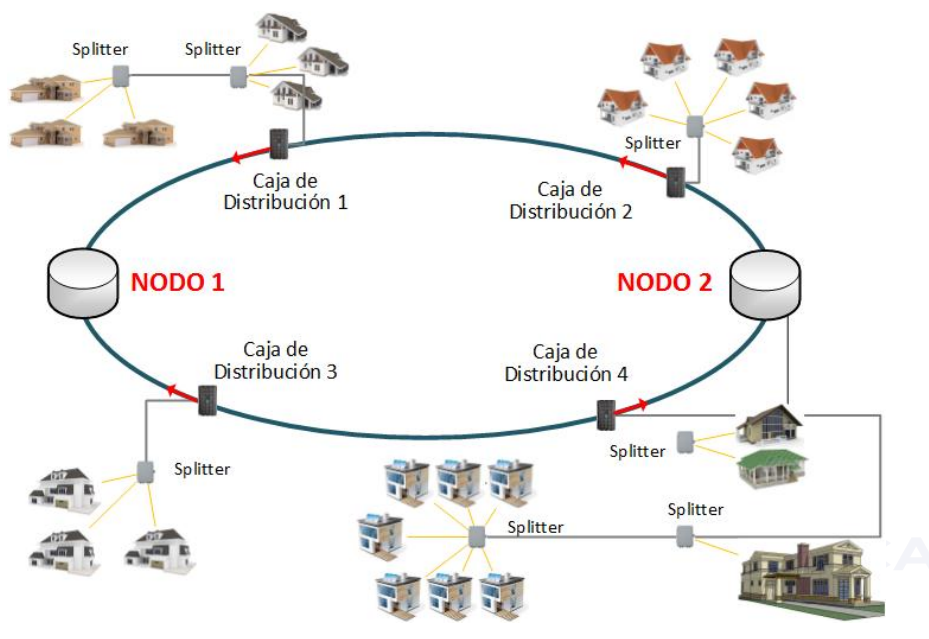


Figura 3.18: Red de Fibra FTTH a viviendas tipo villa  
FUENTE: Nilsson-Gistvik et al. (2007)





## Capítulo 4

# Métodos y temas relacionados

Este capítulo describe de una forma sencilla algunos temas de estudio relacionados con el presente documento, en el cual se analiza aspectos considerados de importancia para el diseño de una red FTTH.

### 4.1. Modelo Cálculo Inicial

Al iniciar un diseño de Red FTTH es necesario considerar algunos aspectos relevantes tales como el realizar una buena estimación de costos, para no realizar altas inversiones al adquirir sus componentes. Calcular de forma asertiva la cantidad de cable de fibra en la implementación, junto con las obras civiles, y el número de elementos para la instalación de la red; estos son aspectos que deben ser tomados en cuenta, inicialmente. Es primordial considerar una metodología a seguir para poder determinar de una manera precisa los cálculos mencionados.

Se considera lo descrito en el artículo titulado *Geometric versus Geographic Models for the Estimation of an FTTH Deployment* de [Mitcsenkov et al. \(2013\)](#). En donde para establecer un cálculo inicial enfoca un marco técnico-económico, en donde se describe el alcance de la red a construir. Este marco propuesto puede, inclusive, aplicar a otros diseños de redes, en él se especifica la viabilidad económica y se debe detallar los insumos que se ocupen para el estudio, basado en un análisis de mercado. Una vez realizado este detalle se podrán obtener resultados concretos en temas relacionados a la construcción, arquitectura, y servicios que se desean brindar al culminar el diseño propuesto. La optimización de recursos es un aspecto importante a tener en cuenta, además de considerar los cálculos económicos y técnicos, siendo la parte fundamental en el diseño de una red física.

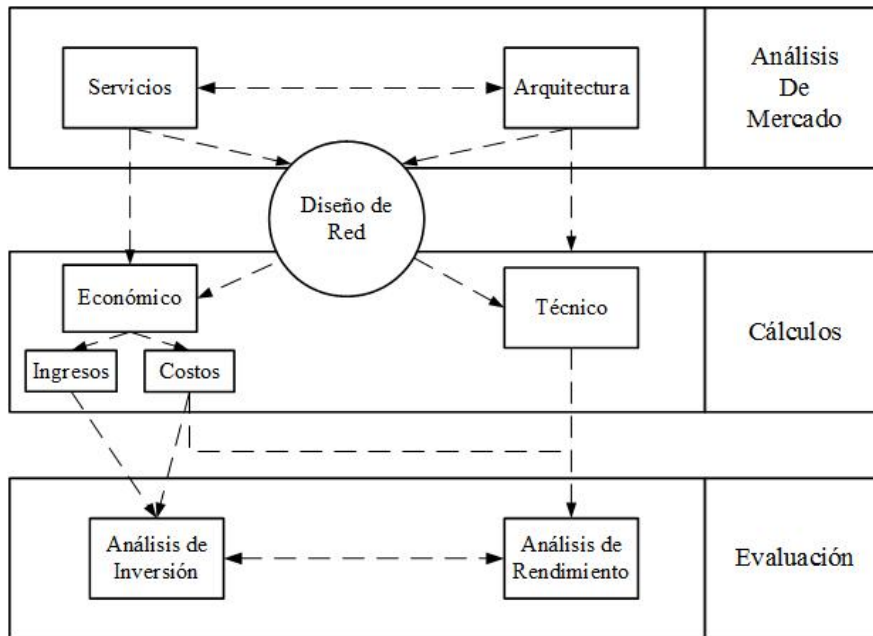


Figura 4.1: Marco para una evaluación Técnico-económica

FUENTE: Kantor et al. (2010)

Por tanto, se considera utilizar el modelo geográfico, por ser una metodología que permite realizar los cálculos de manera precisa, ya que a diferencia del modelo geométrico que es basado en cálculos lineales, el modelo geográfico permite identificar zonas y sectores irregulares de la urbe.

Para valorar los temas relacionados que se toman en consideración en el presente estudio, se utilizará el área de conocimiento en:

- Modelo de cálculo usado (Geométrico o Geográfico)
- Descripción del cálculo del despliegue

## 4.2. Temas relacionados a nivel nacional

El estudio que han realizado [Castillo Jaramillo & Figueroa Torres \(2013\)](#) se refiere al diseño de la red FTTH para el cantón Gualaceo, el mismo que, a pesar de no describir un modelo de cálculo, indica cierta norma a seguir establecida por la CNT EP. Argumenta que la información será levantada en un software CAD (Computer-Aided Design), sobre un plano geo-referenciado previamente. Las normas descritas dependen del incremento de información que se realice según lo descrito. A pesar de no identificar el modelo



inicial de este trabajo, se nota que existe un modelo geográfico el cual contiene una cartografía inicial. Su cálculo de diseño está basado en argumentos teóricos escritos en la norma CNT EP a la cual hace referencia, cada puerto **PON** del **OLT** que servirá para atender a 32 usuarios con servicio *Triple-Play* con un ancho de banda de hasta 78 *Mbps*. La máxima atenuación de despliegue de esta red propuesta no puede pasar los 32 *dB*, con una longitud máxima de hasta 23 *Km*, además de indicar que solo se tendrá un nivel de splitteo. El detalle de distancia máxima es muy generalizado, necesariamente en un diseño se debe considerar los límites de acuerdo al equipamiento utilizado, en este caso solamente se indica la distancia máxima teórica según la norma (20 *Km*).

El estudio de Alcívar Mendoza (2015) utiliza el modelo geométrico para su fase inicial, a pesar de no describir el software de la fuente cartográfica, indica por lo menos la obtención del mismo (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Juan Gómez Rendón, Progreso), el detalle del diseño está fundamentado en un porcentaje específico de clientes. A pesar de describir las pérdidas ópticas y el equipamiento, a emplear la longitud máxima a alcanzar se describe de una manera general (10 *Km* o 20 *Km*). Además, propone dos niveles de splitteo. Un diseño inicial debe tener específicamente los cálculos propuestos para su implementación, por lo que es necesario tener inicialmente un planteamiento detallado.

### 4.3. Temas relacionados a nivel internacional.

El trabajo elaborado por López Polo (2016) para el distrito de Coishco-Ancash, una ciudad costera de Perú, con el fin de implementar una red **FTTH** para los servicios de la comunidad. El modelo cálculo, pese a no hacer referencia, es un modelo geográfico, pues la construcción está basada en un software georeferenciado, partiendo de una cartografía proporcionada por el municipio local. Los cálculos del diseño se basan también en aspectos generales de la norma ITU (máximo 20 *Km*), su despliegue no sobrepasa un kilómetro, haciendo que su funcionamiento óptimo se desempeñara sin ningún inconveniente; sin embargo, el cálculo se basa netamente en formulas estándar, sin especificar las potencias ópticas de los equipos a utilizar.

El diseño realizado por CARMONA GIRALDO & MONTES TORRES (2013) es de una red **PON** para un conjunto residencia llamado “La Villa” en Pereira, Colombia. La implementación se desarrolla con un modelo geográfico basado en una fuente tipo Google Maps, similar a muchos temas relacionados y elaborados sobre este tipo de redes, el modelo geográfico ha sido utilizado empíricamente. El cálculo de las potencias



está detallado de una manera entendible, el área de cobertura está limitada por tanto es más fácil describir los cálculos; sin embargo, son cálculos basados en el estándar, por lo que es necesario referir el equipamiento.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
*desde 1867*



## Capítulo 5

# Propuesta de diseño de una red FTTH para la ciudad de Cuenca

En este capítulo se ilustra el diseño de la red FTTH propuesto para la ciudad de Cuenca, en donde se abarca el tema de despliegue de la misma, además de los cálculos necesarios para su implementación. Finalmente se realiza un análisis económico de inversión y su tiempo de amortización.

### 5.1. Cifras en Cuenca

Como toda ciudad en constante crecimiento, Cuenca es una de las más prominentes ciudades del Ecuador con un realce tecnológico progresista, en donde se pueden notar zonas de negocio y sectores poblados en aumento. Por esta razón, la tecnología ha tomado un papel importante en el convivir diario, por lo que el uso de una red actual debe ser un tema de importancia para la mejora tecnológica de esta ciudad. Según datos del [Instituto Nacional de Estadística y Censos \(INEC\)](#), el 34.1 % de la población utiliza Internet (datos tomados en el año 2010). Sin embargo, este porcentaje ha tenido un crecimiento constante, a tal punto que los negocios, hogares, centros de enseñanza y demás consideran una necesidad el uso del Internet ([INEC, 2011](#)).

El sector comercial de Cuenca se localiza como una franja que cruza desde el norte hasta el sur, convirtiendo a las edificaciones de todo tipo en estructuras apropiadas para tener un negocio, la zona bancaria, en especial, está en la parte céntrica de la urbe, y en la parte sur de la misma.

El número de habitantes en la ciudad de Cuenca según la proyección del último censo de población es de aproximadamente, 592,000 habitantes, de los cuales el 48.12 %



ocupan algún servicio por Internet, es decir 284,870 personas. El proveedor con mayor número de clientes es la empresa ETAPA S.A., con al menos 67,000 abonados. Estos datos demuestran que en el aspecto comercial hay una fuerte afluencia de mercado, la inversión para contar con una red de tecnología actualizada en la ciudad está justificada para cualquier inversionista en este campo (ARCOTEL, 2016).

## 5.2. Escenario de Despliegue

El cable de fibra óptica que se evidencia en la ciudad está controlado bajo una norma que regula la Empresa Eléctrica Regional Centrosur C.A.(EERCS), el mismo que se menciona en (EERCS, 2009). Esta norma establece un mecanismo de balanceo de carga, según el uso de los postes de distintas operadoras de telecomunicaciones de la urbe y de la estética de la misma. Sin embargo, se nota la presencia de varios cables de fibra por cada poste, inclusive en algunos lugares existe un uso exagerado. Basados en la política general de gobierno nacional, se pide cumplir con la norma mencionada, para poder ordenar el uso compartido de postes para el servicio comunitario. Dicha norma está vigente y cumpliéndose en gran parte de los sectores repartidos en la población económicamente activa en Cuenca.

La red propuesta abarca alrededor de 80  $km^2$  de la urbe, en donde se concentrará la mayor afluencia de viviendas y del sector de almacenes, tiendas y negocios. A dichos locales se los llamarán clientes. Se ha distribuido la ciudad por sector de cobertura, tal como se indica en la Figura 5.1. La distribución de estos sectores servirá más adelante para desplegar el diseño propuesto de la red a implementar.

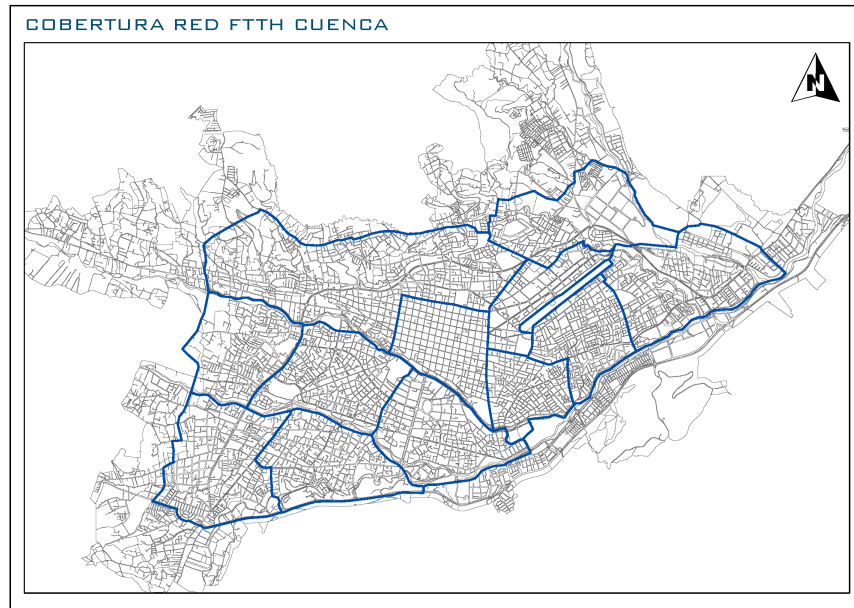


Figura 5.1: Sectores de cobertura

### 5.3. Cálculo del balance del enlace óptico

La potencia de recepción ( $P_r$ ) está en función de la potencia de transmisión ( $P_t$ ) y las pérdidas totales ( $L$ ), expresadas en la Ecuación (5.1).

$$L = L_{\text{cable}} + L_{\text{splitter}} + L_{\text{fusion}} + L_{\text{conector}} \quad (5.1)$$

Donde:

$L_{\text{cable}}$ : Es la pérdida de potencia de la señal óptica, que atraviesa el cable de fibra, especificado por el tipo de fibra, se mide en  $dB/Km$ . Su valor es  $0.35 dB/Km$  (ITU-T, 2001) .

$L_{\text{splitter}}$  : Es la pérdida que se da al utilizar los *splitters*, su valor depende del nivel de splitteo que se tenga, pueden ser  $9.8 dB/Km$ , si es un *splitter* de nivel 1, y  $14.30 dB/Km$  si es un *splitter* de nivel 2 (ITU-T, 2003). En los dos casos usando *splitters* de 1 : 8.

$L_{\text{fusion}}$  : Es la pérdida que se produce al realizar los empalmes por fusión, depende también del equipo que se utilice, su valor en este caso es de  $0.03 dB/Km$  (ITU-T, 2003)

$L_{\text{conector}}$  : Es la pérdida que se da por uso de conectores, su valor es de  $1 dB$  (ITU-T,



Parámetros	VALORES DE UMBRAL	
	OLT	ONT
Potencia máxima de emisión	+5 dBm	+5 dBm
Potencia mínima de emisión	+1.5 dBm	+0.5 dBm
Sensibilidad mínima	-28 dBm	-27 dBm
Saturación de Recepción	> -8 dBm	> -8 dBm

Tabla 5.1: Valores de Potencia  
FUENTE: ITU-T (2003)

2003).

El modelo de cálculo, en resumen, relaciona la potencia emitida con la sensibilidad y la atenuación.

$$P_r = P_t - L \quad (5.2)$$

Es importante recalcar que los valores umbrales usados se basan en las Normas ITU-T que definen GPON. Las pérdidas promedio en *downstream* por kilómetro son de  $0.25 \text{ dB/Km}$ , y en *upstream* de  $0.31 \text{ dB/Km}$ .

Además, la norma G.984.2 define umbrales mínimos y máximos de potencia óptica en la conexión entre OLT y ONT, por lo que estos valores son los que determinarán los puntos de corte tanto para establecimiento y caída de conexión, como de saturación.

Se establece un margen de resguardo de 3 dBs. Este margen tiene por objeto absorber las posibles modificaciones que se presenten a futuro en el tendido de la red, y que impliquen aumento en la atenuación. La distancia entre OLT y ONT puede ser de hasta 20 Km, dependiendo de la potencia óptica total disponible del equipo (Shaik et al., 2005).

## 5.4. Especificaciones técnicas de los equipos a utilizar

En las siguientes secciones se hace mención a los diferentes equipos que se sugieren utilizar para implementación del diseño propuesto. Cabe indicar que para la red pasiva se utilizarán equipos genéricos disponibles en el mercado, como son: *splitters* ópticos, cajas de dispersión, cajas home, pedestales, y conectores. La función de cada uno de los dispositivos fue definida en el Capítulo 3.



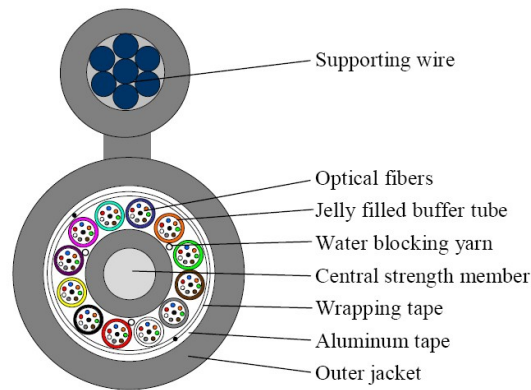


Figura 5.2: Cable Figura 8 de 144 hilos

FUENTE: ITU-T (2003)

#### 5.4.1. Fibra Óptica

La fibra seleccionada es de tipo monomodo (*single mode* o SM), que debe cumplir con el estándar G.652, pues este permite trabajar en un rango de 1310 nm a 1625 nm. Dentro de las subcategorías de la norma G.652, se sugiere la de tipo D, en este tipo de fibra se reduce el pico de dispersión por iones de hidroxilo (OH<sup>-</sup>), aumentando de esta manera las velocidades de transmisión (ITU-T, 2001).

El cable de alimentación (llamado así dentro de la arquitectura PON) recomendado es el cable óptico auto-soportado por un mensajero de acero galvanizado (figura 8), que es usado especialmente en exteriores. También por sus características relacionadas al tiempo de duración y al gran soporte a diferentes tipos de clima. Se recomienda el que tiene las especificaciones técnicas LSGS-10-0C0251-01, que es de una sola chaqueta con armadura, marca Furukawa (Furukawa, 2014).

El cable de distribución (llamado así dentro de la arquitectura PON) destinado para la última milla, es decir el recorrido de fibra que se pasa desde la caja Home hasta el cliente. En este tipo de cable se sugiere utilizar las marcas Furukawa, o el que se puede instalar por ductos subterráneos (Furukawa, 2014).

#### 5.4.2. Equipo Agregador o Switch

Para este equipo se sugieren dos marcas, la Cisco Catalyst 4900M y la HPE 5920 5920AF-24XG.

- **Switch Cisco Catalyst 4900M:** diseñado como un artefacto superior del rack que brinda las características de búfer, latencia y rendimiento necesarios para



Figura 5.3: Cable Drop marca Furukawa  
FUENTE: [www.furukawa.com](http://www.furukawa.com)



Figura 5.4: Cisco Catalyst 4900M  
FUENTE: [www.cisco.com](http://www.cisco.com)

matizarse en esta función. Además, proporciona una ruta de migración modular de Gigabit Ethernet a 10 Gigabit Ethernet. Gran flexibilidad intercambiable en caliente que proporciona alta disponibilidad en un entorno dinámico, y alcanza una latencia de menos de 5 microsegundos con paquetes de 64 bytes.

- **Switch HPE 5920 5920AF-24XG:** es de baja latencia, de una capacidad de 10 *GbE*, soporta búferes de paquetes grandes para aplicaciones sensibles a las pérdidas. Ideal para implementar en la capa de acceso en empresas grandes y medianas, y para la entrega de contenido, especialmente para reducir la congestión de *E/S* en la red. Admite tráfico de servidor a servidor y virtualización de red.

### 5.4.3. Equipo **OLT**, Optical Line Terminal

Entre los equipos **OLT** que se sugieren usar tenemos el EP-3116 marca Tellion (Tellion, 2015) y el equipo HUAWEI SmartAX MA5600T (Huawei, 2010). A continuación, se presenta un cuadro comparativo de los dos equipos señalados:



Figura 5.5: Switch HPE 5920 5920AF-24XG



Figura 5.6: ONT Tellion  
FUENTE: [www.tellion.com](http://www.tellion.com)

#### 5.4.4. Equipo ONT, Optical Network Terminal.

El equipo ONT que se sugiere utilizar es el EP-3204G, marca Tellion, el que posee las siguientes características relevantes:

- Estabilidad del enlace hasta -27db, pasado este valor, el equipo muestra en su panel de indicadores una variación de color que indican el grado de operatividad en la red.
- Posee 4 interfaces Ethernet programables, de las cuales se emplea una para dar servicio de conexión a un router inalámbrico que estará en el lado del cliente, el resto de puertos pueden usarse para otros servicios como televisión, telefonía, VoIP etc.
- Velocidad de transmisión para 10/100/1000 Mbps Ethernet.



EQUIPO OLT	GE-PON EP-3116 OLT	SmartAX MA5600T
GRAFICO		
ACCESOS	IEEE 802.3ah compliant ODN interface GEPON	Admite múltiples métodos de acceso, VDSL2/ADSL2+/G.SHDSL/POTS/ISDN/ GPON/Ethernet P2P.
ESCENARIOS	FTTN / FTTB / FTTH	Soporta múltiples escenarios: FTTC / FTTB / FTTH / FTTO / FTIM.
ALIMENTACION	1+1 / 90 VAC~250 VAC,50Hz~60Hz or -48+/- 10% Vdc	Provee 4 Entradas de -48V Provee 8 Salidas de -48V Provee Funciones de Monitoreo Soporta modulo de fuente AC/DC
NUMERO DE TARJETAS	6	16
NUMERO DE PUERTOS GPON PORTAFIBRA	8 Modulos SPF	8 Modulos SPF
TASA DE TRANSMISION	1,244 Gbps Downstream 1,244 Gbps upstream	DownStream: 2,488 Gbps UpStream: 1,244 Gbps
LONGITUD DE ONDA	Wavelength: Up(1310nm)/Down(1490nm)	DownStream: 1,490 nm UpStream: 1,310 nm
BACKPLANE	Hasta 3,2 Tbps	Hasta 3,2 Tbps
MAXIMO DE USUARIOS	1024	16,000
CLASE	B+ o C+	B+ o C+
RELACION DE DIVISION	1 a 64	1 a 128

Tabla 5.2: Características equipos OLT  
FUENTE: [www.tellion.com](http://www.tellion.com), [www.huawei.com](http://www.huawei.com)

## 5.5. Diseño de la red FTTH

La implementación de una red FTTH requiere de una gran inversión en infraestructura, especialmente al adquirir los cables de fibra óptica, si no se tiene un cálculo real de la necesidad a cubrir puede caer en costos elevados (sobredimensionamiento); por este motivo, es importante contar con un modelo de estimación que permita dimensionar de mejor manera todos los componentes necesarios para el diseño de la red. En función de los resultados obtenidos en el artículo de Kantor et al. (2010), el modelo que logra una mejor estimación es el geográfico.

Es importante definir el área de cobertura, es decir, indicar la parte física a cubrir en el diseño propuesto. Hay que considerar también recorrer físicamente el área a cubrir, antes de realizar cualquier cálculo inicial. En general, no hay ningún modelo de red FTTH establecido como estándar en ningún país (Hoernig et al., 2012). La Figura 5.7 presenta un flujo a seguir para el diseño de una red de acceso FTTH.

### 5.5.1. Cálculo del presupuesto del enlace óptico

Teóricamente un OLT y un ONT pueden estar conectados aproximadamente a 20 Km de distancia ITU-T (2003), esto depende de la potencia de transmisión ( $P_t$ ) del equipo OLT, la pérdida total en la trayectoria ( $L$ ) hasta el ONT y la sensibilidad del equipo ONT ( $P_r$ ), como se definió en la Ecuación (5.1) de la Sección 5.3. Las pérdidas se calculan usando la Ecuación (5.2), la cual está definida también en la Sección 5.3.

Para el diseño se consideran como máximo los valores detallados en la Tabla 5.3, los que se encuentran en las recomendaciones ITU-T (2001) y ITU-T (2003). Los umbrales mínimos y máximos entre OLT y ONT se definen en la Tabla 5.1.

Elemento	Pérdida Unit. En dB	Observaciones (Valores según el Fabricante)
Cable (dB/Km)	0.35	Para Longitud de Onda en 1310 nm.
Patch Cord	1	Incluye Fusiones y empalmes del cliente
Acopladores ODF (dB)	1	Según el estándar
Acopladores BMX (dB)	1	Según el estándar
Empalmes Mangas	0.03	Según el equipo que se utiliza
Empalmes Patch Cord	0.03	Según el equipo que se utiliza
Splitter 1:8	9.8	Según el estándar
Splitter 1:16	14.3	Según el estándar
Margen de Resguardo	3	Según el estándar

Tabla 5.3: Pérdidas Teóricas del Diseño  
FUENTE: ITU-T (2003)

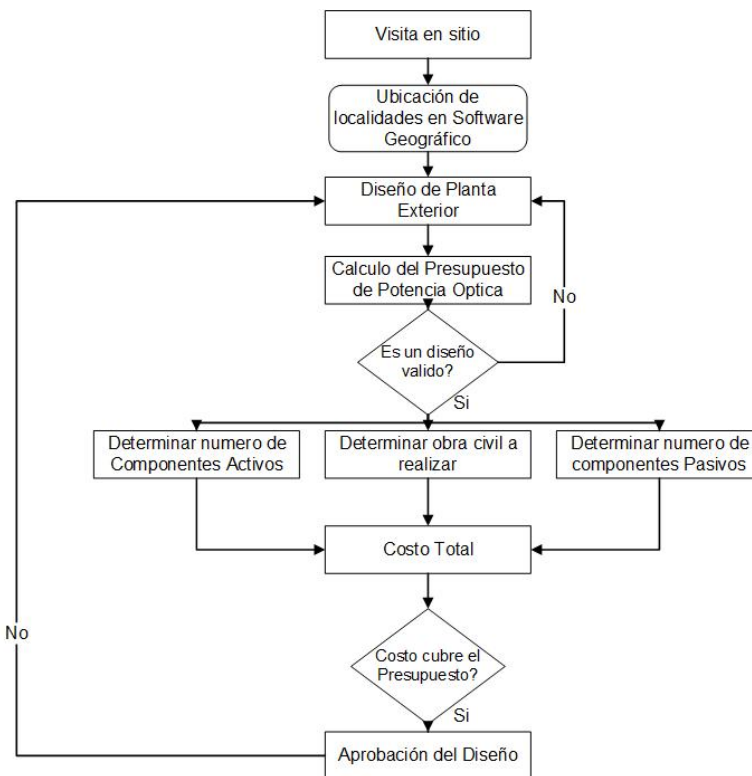


Figura 5.7: Flujo secuencia de pasos para diseño de una red FTTH

FUENTE: Hoernig et al. (2012)

### 5.5.2. Propuesta de diseño

Para el presente estudio, la estimación de componentes se basa en un modelo geográfico, pues, se cuenta con la información GIS (Geographic Information System) de la ciudad, permitiendo realizar un diseño preciso, y establecer valores confirmados para la inversión en el despliegue de la implementación.

Para calcular la extensión máxima de despliegue de la red, se consideran como máximo los valores de pérdidas teóricas totales descritos en la Tabla 5.3, sin embargo las pérdidas reales generalmente son menores a la tabla mencionada, como es el caso descrito a continuación.

Al brindar servicios de telefonía y datos se considera los valores de potencia de salida del equipo OLT, y la sensibilidad del equipo ONT. Este diseño usará los equipos OLT EP-3116 (Tellion, 2010), y ONT EP-3204G (Tellion, 2009), ambos de la misma marca. La potencia de salida ( $P_t$ ) del equipo OLT es de 1.5 dBm. La sensibilidad del equipo ONT ( $S$ ) es de  $-27$  dBm, y la pérdida total teórica con dos niveles de splitteo de (1 : 8), además de las pérdidas reales en el resto de elementos pasivos que se detallan en la Tabla 5.4, y tienen un total de 25.01 dB, sin considerar todavía las pérdidas por distancia de tendido de cable (Furukawa, 2014; Huihong Technologies Limited, 2010).

Reemplazando valores en la Ecuación (5.1) se tiene:

$$\begin{aligned}P_r &= P_t - L \\P_r &= 1.5 \text{ dBm} - 25.01 \text{ dB} \\P_r &= -23.51 \text{ dBm}\end{aligned}$$

Elemento	Pérdida Unitaria en Db	Cantidad	PÉRDIDAS TOTALES en Db
Patch Cord	0.20	2	0.40
Acopladores ODF (dB)	0.20	1	0.20
Acopladores BMX (dB)	0.20	1	0.20
Empalmes Mangas	0.03	7	0.21
Empalmes Patch Cord	0.03	0	0.00
Splitter 1:8	10.50	2	21.00
Margen de resguardo	3.00	1	3.00
		<b>Total</b>	<b>25.01</b>

Tabla 5.4: Pérdida de Potencia Total por los elementos de red para servicios de VoIP y datos



El margen restante del enlace ( $M$ ) es la diferencia entre la sensibilidad del equipo **ONT** ( $S$ ) y la potencia recibida en el mismo ( $P_r$ ):

$$\begin{aligned}M &= P_r - S \\M &= -23.51 \text{ dB} - (-27 \text{ dBm}) \\M &= 3.49 \text{ dB}\end{aligned}$$

Entonces, la distancia máxima ( $d$ ) se obtendrá de la relación entre el margen del enlace ( $M$ ) con respecto al valor de pérdida del cable de fibra óptica utilizado ( $L_{\text{cable}}$ )

$$\begin{aligned}d &= \frac{M}{L_{\text{cable}}} \\d &= \frac{3.49 \text{ dB}}{0.35 \text{ dB}} \\d &= 9.97 \text{ Km}\end{aligned}$$

Por lo tanto, la distancia máxima de la fibra entre los equipos **OLT** y **ONT**, es de  $9.97 \text{ Km}$ .

Para brindar el servicio de video broadcast o *Video on Demand (VoD)*, las pérdidas teóricas aumentan elementos de conexión como son los conectores *coupler (Optical WDM Couplers)*, los mismos que irán conectados adicionalmente a los extremos entre el **OLT** y **ONT**, la Tabla 5.5 muestra los valores indicados (**Teleste Video Networks, 2007**).

De donde se obtiene que la potencia de recepción es:

$$\begin{aligned}P_r &= P_t - L \\P_r &= 1.5 \text{ dBm} - 25.61 \text{ dB} \\P_r &= -24.11 \text{ dBm}\end{aligned}$$

El margen del enlace ( $M$ ) es:





$$M = P_r - S$$

$$M = -24.11 \text{ dB} - (-27 \text{ dBm})$$

$$M = 2.89 \text{ dB}$$

Y la distancia máxima es:

$$d = \frac{M}{L_{\text{cable}}}$$
$$d = \frac{2.89 \text{ dB}}{0.35 \text{ dB}}$$
$$d = 8.26 \text{ Km}$$

El diseño propuesto considera una extensión de hasta 4 Km por temas de resguardo (explicados con respecto al modelo establecido por cobertura (Mitsenkov et al., 2013)). Las pérdidas que se obtienen a 4 Km de distancia, con dos niveles de splitteo de (1 : 8), además de las pérdidas en el resto de elementos pasivos se detallan en la Tabla 5.6.

El margen restante para el diseño propuesto en 4 Km de distancia es de 2.09dB para VoIP y datos, incluyendo ya la pérdida del cable de fibra. En resumen, la distancia propuesta para el diseño es de 4 Km. Es necesario indicar que este diseño puede alcanzar mayor distancia por tener un margen de resguardo considerable; a continuación como ejemplo se muestra los valores de cálculo obtenidos a 4 Km y 10 Km, como se muestra en 10 Km el margen restante del enlace llega a niveles que no son admitidos. La Figura 5.8 muestra el detalle de estos cálculos.



Elemento	Pérdida Unitaria en Db	Cantidad	PÉRDIDAS TOTALES en Db
Patch Cord	0.20	2	0.40
Acopladores ODF (dB)	0.20	1	0.20
Acopladores BMX (dB)	0.20	1	0.20
Empalmes Mangas	0.03	7	0.21
Empalmes Patch Cord	0.03	0	0.00
Splitter 1:8	10.50	2	21.00
Acopladores Coupler	0.30	2	0.60
Margen de Resguardo	3.00	1	3.00
<b>Total</b>			<b>25.61</b>

Tabla 5.5: Pérdida de Potencia Total por los elementos de red para servicio video broadcast

VoIP y Datos			
Elemento	Pérdida Unitaria	Distancia en Km.	PÉRDIDAS TOTALES dB
Pérdida Cable de fibra óptica dB/Km	0.35	4	-1.40
Pérdidas totales elementos pasivos			-25.01
Potencia del equipo			1.50
<b>Pérdidas a 4 Km</b>			<b>-24.91</b>
Video			
Elemento	Pérdida Unitaria	Distancia en Km.	PÉRDIDAS TOTALES dB
Pérdida Cable de fibra óptica dB/Km	0.35	4	-1.40
Pérdidas totales elementos pasivos			-25.61
Potencia del equipo			1.50
<b>Pérdidas a 4 Km</b>			<b>-25.51</b>

Tabla 5.6: Pérdida de Potencia Total a una distancia de 4 Km

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DEL DISEÑO A 4 Km.			
Elemento	Pérdida Unitaria en Db	Cantidad	PÉRDIDAS TOTALES
Cable dB/Km	0.35	4	1.40
Patch Cord	0.20	2	0.40
Acopladores ODF (dB)	0.20	1	0.20
Acopladores BMX (dB)	0.20	1	0.20
Empalmes Mangas	0.03	7	0.21
Empalmes Patch Cord	0.03	0	0.00
Splitter 1:8	10.50	2	21.00
Margen de resguardo	3.00	1	3.00
			<b>26.41</b>

CÁLCULOS DE ENLACE	
Detalle	Valor
Potencia Salida OLT [dBm]	1.5
Sensibilidad ONT [dBm]	-27
Potencia Recepción Teórica [dBm]	-24.910
<b>MARGEN RESTANTE ENLACE</b>	<b>-2.090</b>

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DEL DISEÑO A 10 Km.			
Elemento	Pérdida Unitaria en Db	Cantidad	PÉRDIDAS TOTALES
Cable dB/Km	0.35	10	3.50
Patch Cord	0.20	2	0.40
Acopladores ODF (dB)	0.20	1	0.20
Acopladores BMX (dB)	0.20	1	0.20
Empalmes Mangas	0.03	7	0.21
Empalmes Patch Cord	0.03	0	0.00
Splitter 1:8	10.50	2	21.00
Margen de Resguardo	3.00	1	3.00
			<b>28.51</b>

CÁLCULOS DE ENLACE	
Detalle	Valor
Potencia Salida OLT [dBm]	1.5
Sensibilidad ONT [dBm]	-27
Potencia Recepción Teórica [dBm]	-27.010
<b>MARGEN RESTANTE ENLACE</b>	<b>0.010</b>

Figura 5.8: Cálculos de enlace a distancias de 4 Km y 10 Km

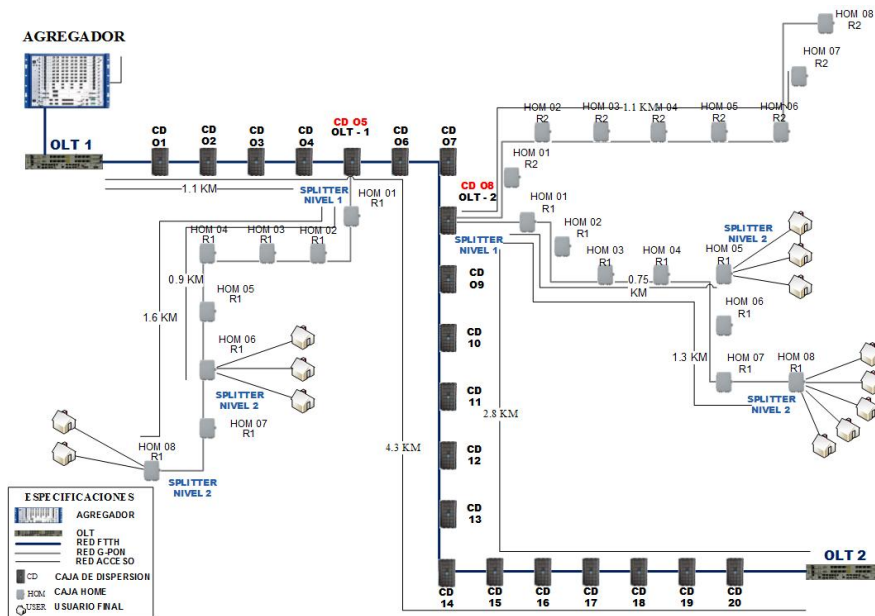


Figura 5.9: Diseño de despliegue Red FTTH entre dos nodos  
 FUENTE: Al-Quzwini (2014)

Una mejor explicación del diseño propuesto se detalla a continuación: se procede a segmentar una sección del mismo entre dos nodos, donde cada uno tendrá un equipo OLT, la dispersión del cable fibra óptica en la calle se realizará mediante *Caja de Dispersión* (CDs), las mismas que serán colocadas cada dos cuadras hasta llegar al siguiente nodo, logrando de esta forma tener redundancia. Es aquí donde se tiene el primer nivel de splitteo (*Splitter Nivel 1*, 1 : 8), desde cada CD se desplegará la red perpendicularmente hacia las viviendas de los usuarios, sean estas unitarias o múltiples, las cajas de repartición ya en el punto final toman el nombre de Cajas Home (HOM), dependiendo del sector de atención se proyecta el segundo nivel de splitteo (*Splitter Nivel 2*, 1 : 8). La longitud a cubrir en la extensión del servicio tal como se indicó se sugiere sea a 4 Km desde el OLT hasta la vivienda de atención (cliente).

La Figura 5.9 muestra un ejemplo del diseño de despliegue, se indica distancias desde el origen de salida de la señal óptica, hasta llegar al cliente, el número de CD entre cada ruta se consideran máximo de 20 cajas, las HOM pueden llegar a servir en el trayecto que sea necesario siempre y cuando cumpla con la distancia fijada. El “agregador” es el equipo activo central que actúa agregando el tráfico de todos los nodos de la red. Se sugiere el uso del equipo Cisco Catalyst 4900M (CISCO, 2016).

Con las distancias entre el OLT y los ONT, como se muestra en la Tabla 5.7, se



calcula las pérdidas ópticas en base a cada distancia considerada como despliegue de la red hasta llegar al segundo nivel de splitteo; se obtiene el valor de potencia óptica recibida, y se confirma que está dentro de los niveles óptimos de funcionamiento (Al-Quzwini, 2014).

Finalmente, se muestra el diseño de la red en la Figura 5.10, utilizando ArcGIS<sup>1</sup>. Se sectoriza la ciudad por zona de cobertura entre los nodos considerados, excepto la zona central de Cuenca, por ser considerado patrimonio cultural, se considera sectores donde existe postes en la ciudad. Los nodos propuestos están distribuidos, geográficamente a 4 Km, cumpliendo con el cálculo óptimo que se obtuvo. En la Figura 5.10 las líneas trazadas de color rojo representan la red primaria, en donde estarán instaladas las CD, las líneas de color azul muestran la posible área de cobertura.

Cada nodo contendrá un equipo OLT y permitirá que la red se propague por las diferentes manzanas del sector, cubriendo éstas según necesite el operador de telecomunicaciones. Se ha contemplado que los nodos principales posean dos rutas, formando un anillo de respaldo en caso de daños o cortes producidos en las rutas, con esto se logra tener el servicio activo y prevenir que no se produzca el corte del servicio hacia los usuarios, como muestra la Figura 5.11.

Las CDs estarán colocadas a 200 metros de distancia aproximadamente, para una cobertura de 2 manzanas de su trayectoria, estas pueden ir colocadas en pedestales en función del criterio de implementación. Las HOM, pueden distribuirse a las viviendas más cercanas en la manzana, utilizando un nivel de splitteo secundario. Las rutas consideradas en el diseño se detallan en la Tabla 5.8.

<sup>1</sup>ArcGIS comprende una serie de aplicaciones para gestión de información geográfica

CÁLCULO DE POTENCIA ÓPTICA PARA EL DISEÑO DE LA RED FTTH PROPUESTA										
OLT Dependencia	Código CD	Código HOM	OLT - CD Distancia (metros)	CD - HOM Distancia (metros)	OLT - HOM Distancia en (metros)	# de Empalmes (fusiones)	Perdida por Empalme (-dB)	Pérdida de FO por distancia (-dB)	Total Empalme perdida (-dB)	Potencia Recibida
2	CD 08 / R1	HOM 08 / R1	2817	1320	4137	6	0.03	1.44795	0.18	-20.5280
2	CD 08 / R1	HOM 05 / R1	2817	756	3573	6	0.03	1.25055	0.18	-20.3306
2	CD 08 / R2	HOM 07 / R2	2817	1114	3931	6	0.03	1.37585	0.18	-20.4559
1	CD 05 / R1	HOM 06 / R1	1123	937	2060	6	0.03	0.721	0.18	-19.8010
1	CD 05 / R1	HOM 06 / R1	1123	1612	2735	6	0.03	0.95725	0.18	-20.0373
1	CD 05 / R1	HOM 06 / R1	5000	2000	7000	8	0.03	2.45	0.24	-21.5900

Tabla 5.7: Cálculo pérdidas ópticas  
FUENTE: Al-Quzwini (2014)

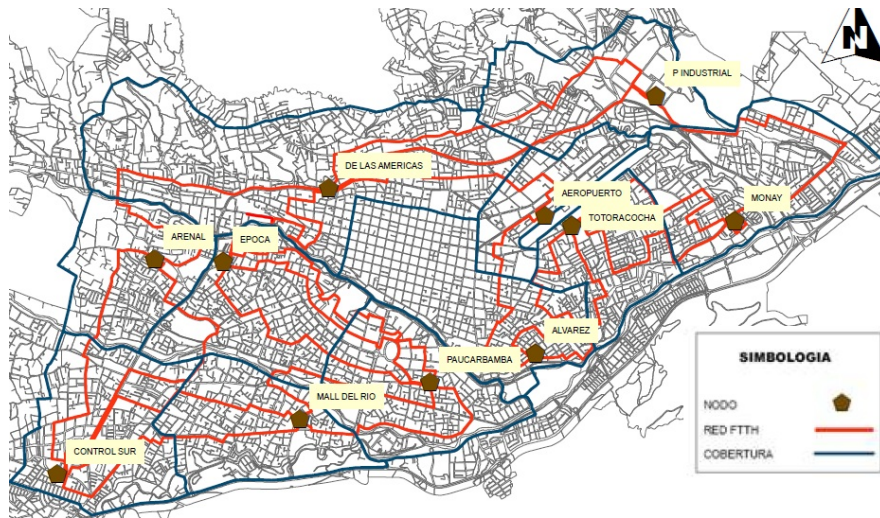


Figura 5.10: Red FTTH para la ciudad de Cuenca

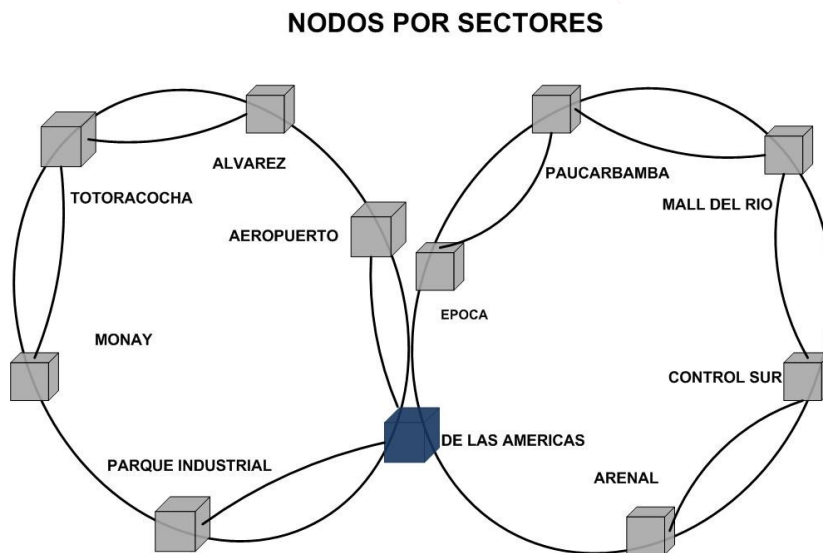


Figura 5.11: Nodos por sector



RUTA	Distancia en Km.
De las Américas - Época	4.00
De las Américas - Aeropuerto	4.00
Aeropuerto - Alvarez	4.00
Alvarez - Totoracocha R1	4.00
Alvarez - Totoracocha R2	3.50
Época - Paucarbamba R1	4.00
Época - Paucarbamba R2	4.00
Época - Paucarbamba R3	4.00
Totoracocha - Monay R1	3.50
Totoracocha - Monay R2	3.50
Monay - P Industrial	4.00
De las Américas - P Industrial R1	4.00
De las Américas - P Industrial R2	4.00
Paucarbamba - Mall del Rio R1	3.80
Paucarbamba - Mall del Rio R2	3.50
Control Sur - Mall del Rio R1	3.50
Control Sur - Mall del Rio R2	3.80
Control Sur -Arenal R1	4.00
Control Sur -Arenal R2	3.70
De las Américas - Arenal	3.70

Cálculos Estadísticos	
Media	3.83
Varianza	0.05
Mediana	4.00
Desviación Estándar	0.22
Coficiente Variación	0.06
Xmin	3.50
Cuartil 1	3.65
Cuartil 2	4.00
Xmax	4.00
Moda	4.00
Rango	0.50

Tabla 5.8: Rutas de Tendido de Fibra Cuenca

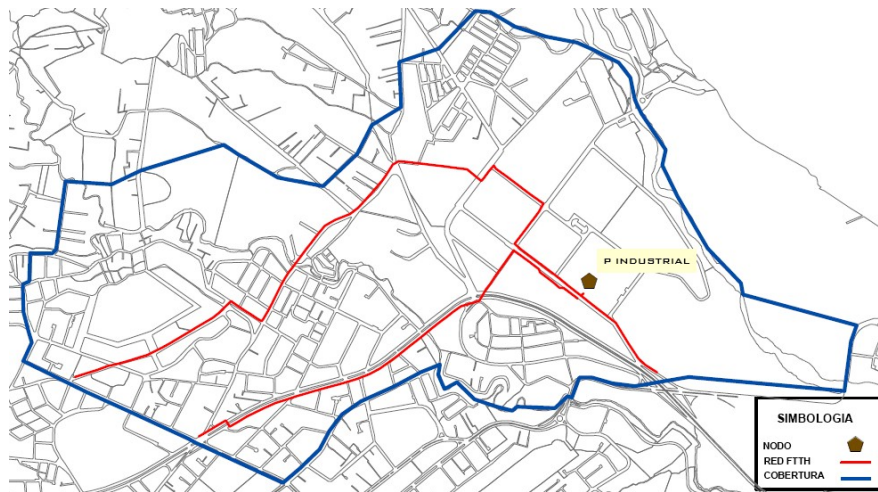


Figura 5.12: Cobertura Nodo P. Industrial

### 5.5.3. Especificaciones por sectores de cobertura

A continuación, se especifica mediante ilustraciones cada sector de cobertura.

#### 5.5.3.1. Nodo parque industrial

Cubre los sectores ubicados por Parque Industrial, Parroquia el Vecino, ciudadela Calderón (Figura 5.12). Contempla la ruta por las calles:

Al Oeste del Nodo:

- **Horizontales:** Miguel Ángel Narváez, Cornelio Veintimilla, Paseo Río Machán-gara, Obispo Miguel León, Barrial Blanco, Cimarrones, Juan Estrobel.
- **Verticales:** Carlos Tosi, Vía a Patamarca, Cornelio Merchán, Del Toril, Arz. Serrano Abad, Obispo Ordoñez Crespo, Turuhuayco.

Al Este del nodo:

- **Horizontales:** Calle Primera, Panamericana Norte, Av. España.
- **Verticales:** Avda. de las Américas, Avda. de la Independencia, Paseo Cornelio Veintimilla.

#### 5.5.3.2. Nodo Aeropuerto

Cubre sectores del Aeropuerto, Avenida España, Parroquia el Vecino, Avenida Gil Ramírez Dávalos (Figura 5.13). Contempla la ruta por las calles:

Al noroeste del nodo:



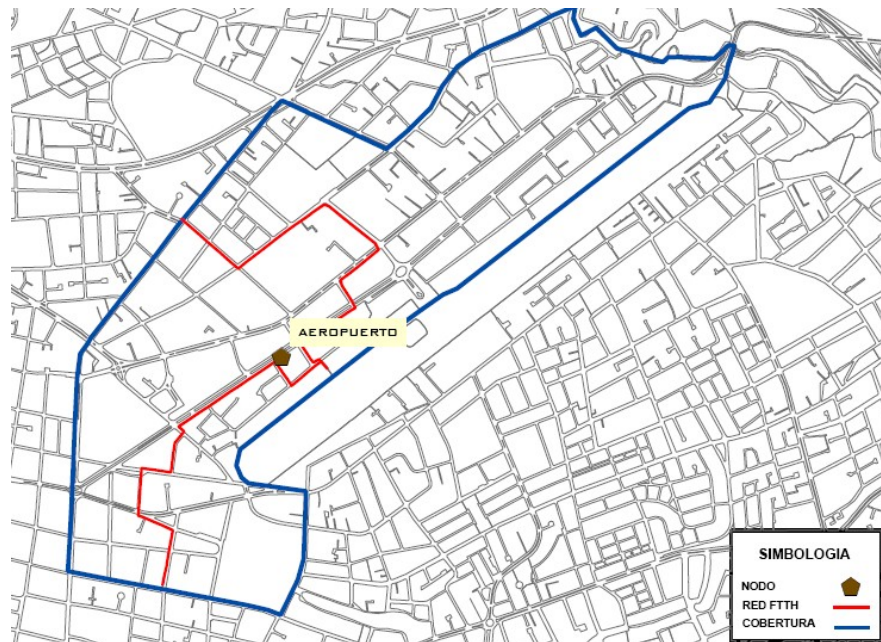


Figura 5.13: Cobertura Nodo Aeropuerto

- **Horizontales:** Castellana, Avda. España, Avda. Gil Ramírez Dávalos, Calle Vieja, Barrial Blanco.
- **Verticales:** Sevilla, Armenillas, de las Alcabalas, Sebastián de Benalcázar.

Al noreste del nodo:

- **Horizontales:** Castellana, Avda. España, Avda. Gil Ramírez Dávalos, Calle Vieja, Barrial Blanco.
- **Verticales:** Elia Liut, Turuhuayco, Valencia, de la Ladera, El Pedregal.

Al suroeste del nodo:

- **Horizontales:** Octavio Díaz, Gabriel García Moreno, Olmedo.
- **Verticales:** Núñez de Bonilla, Presidente Rocafuerte, González Suárez.

#### 5.5.3.3. Nodo Totoracocha

Cubre sectores ubicados por parroquia Totoracocha, Ciudadela el Paraíso, Ciudadela de la Policía (Figura 5.14). Contempla la ruta por las calles:

Al suroeste del nodo:

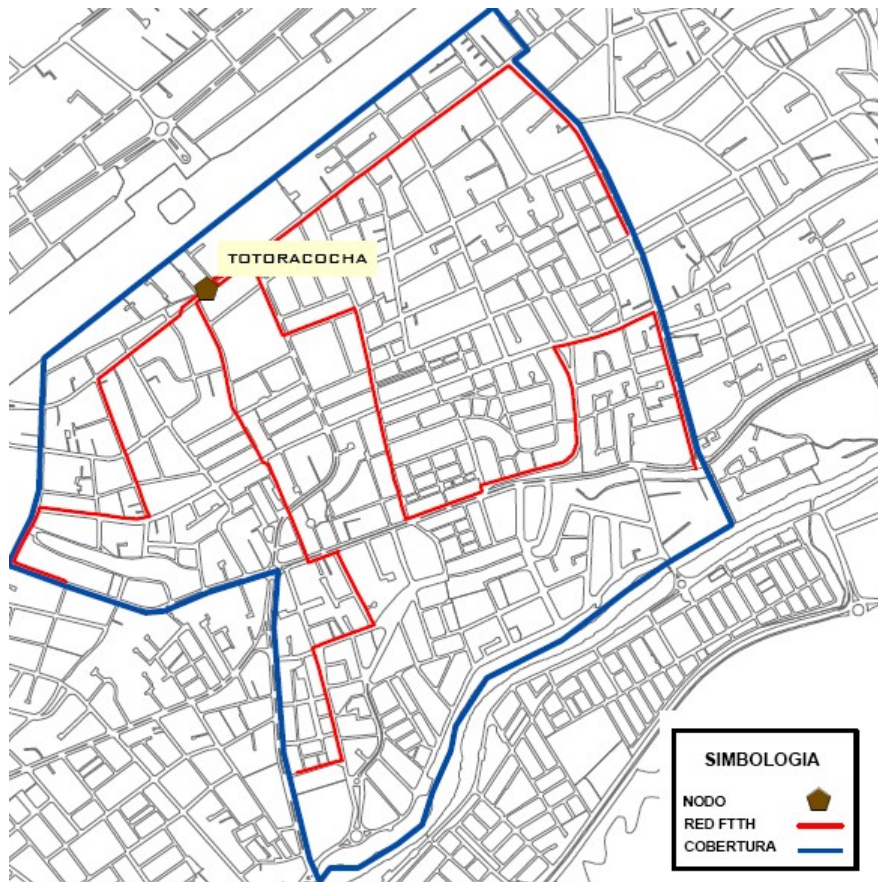


Figura 5.14: Cobertura Nodo Totoracocha

- **Horizontales:** Hurtado de Mendoza, Río Palora, Rumi Urco, Yanaurco, González Suárez.
- **Verticales:** Río Malacatus, Río Upano, Río Cutucu, Guapondelig.

Al sureste del nodo:

- **Horizontales:** Hurtado de Mendoza, Cojitambo, Saraurco, Yanaurco, González Suárez.
- **Verticales:** Paseo de los Cañarís, Cordillera, Daniel Torres, Antisana, Los Andes.

#### 5.5.3.4. Nodo Monay

Cubre la parroquia Monay, ciudadela Eucaliptos, Quinta Chica, Ciudadela de los Ingenieros (Figura 5.15). Contempla la ruta por las calles:

Al Noroeste del Nodo:

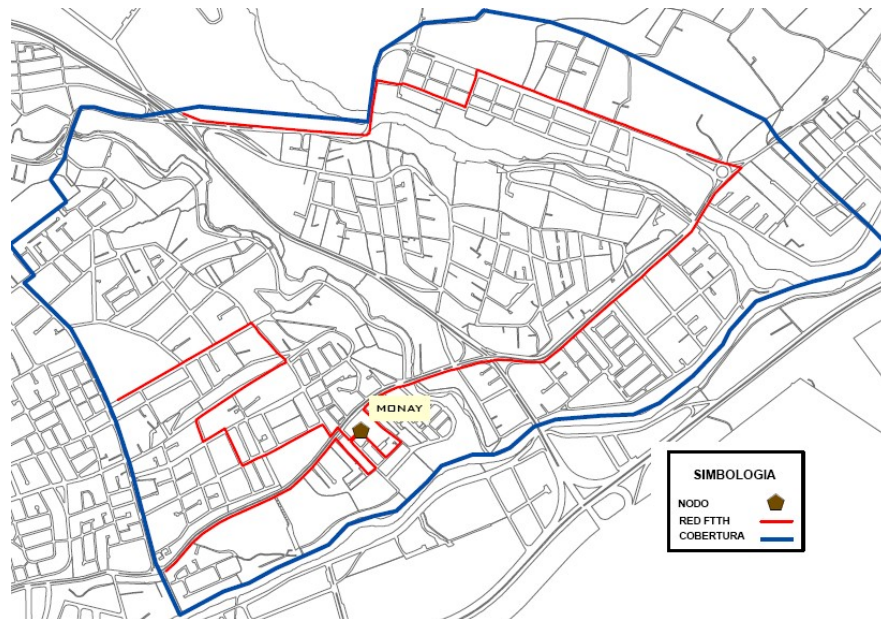


Figura 5.15: Cobertura Nodo Monay

- **Horizontales:** González Suárez, Los Shyris, Altiplano, Atahualpa, del Cóndor, Huancavilca, Hurtado de Mendoza.
- **Verticales:** Pintag, de los Colorados, Hualcopo, los Andes, los Cayapas, Totora-cocha.

Al Noreste del Nodo:

- **Horizontales:** González Suárez, Altiplano, Atahualpa, San pablo del Lago.
- **Verticales:** Pintag, Paseo Milchichig, Avda. de las Américas, San Pedro del lago, Panamericana Norte.

Al Suroeste del Nodo:

- **Horizontales:** Marginal al río.
- **Verticales:** Cajamarca, Curtiembre, Rayoloma.

Al Sureste del Nodo:

- **Horizontales:** González Suárez, Cumandá.
- **Verticales:** Del Edil, Avda. de las Américas, Araucana, Ramayana.



### 5.5.3.5. Nodo Álvarez

Cubre la Parroquia Cañaribamba, Ciudadela de la Republica, Ciudadela el Paraíso, Ciudadela Álvarez (Figura 5.16). Contempla la ruta por las calles:

Al Noroeste del Nodo:

- **Horizontales:** Paseo de los Cañaris, Rumiñahui, Guapondelig, Huaynacapac.
- **Verticales:** Los Caciques, Cacique Duma, Hernando Leopulla, Avda. Pumapungo.

Al Noreste del Nodo:

- **Horizontales:** Paseo de los Cañaris, Mancocapac, Cacique Chaparra, Guapondelig, Garcia Moreno, Huaynacapac.
- **Verticales:** Viracochabamaba, Princesa Toa, J. Carrera Andrade, Eloy Alfaro, Juan José Flores, Camilo Ponce, Camilo Egas.

Al Suroeste del Nodo:

- **Horizontales:** Quis Quis, Pachacamac, Pumapungo.
- **Verticales:** Cacique Chaparra, Hernando Leopulla.

Al Sureste del Nodo:

- **Horizontales:** Jorge Carrera, Medardo A. Silva, Benjamín Carrión, A. Borja.
- **Verticales:** Viracochabamaba, Benigno Vela, José de la Cuadra, Camilo Ponce, Camilo Egas.

### 5.5.3.6. Nodo de las Américas

Cubre la parroquia Bellavista, Avda. de las Américas sector norte, Sector el Cebollar (Figura 5.17). Contempla la ruta por las calles:

Al Noroeste del Nodo:

- **Horizontales:** Avda. de las Américas, Calle del tejar, Abelardo J. Andrade, Camino a Racar.
- **Verticales:** del Chofer, Cayambe, de la Verbena.

Al Noreste del Nodo:

- **Horizontales:** Héroes de Verdeloma, Eugenio Espejo, Avda. de las Américas, Abelardo J. Andrade, Cumana.

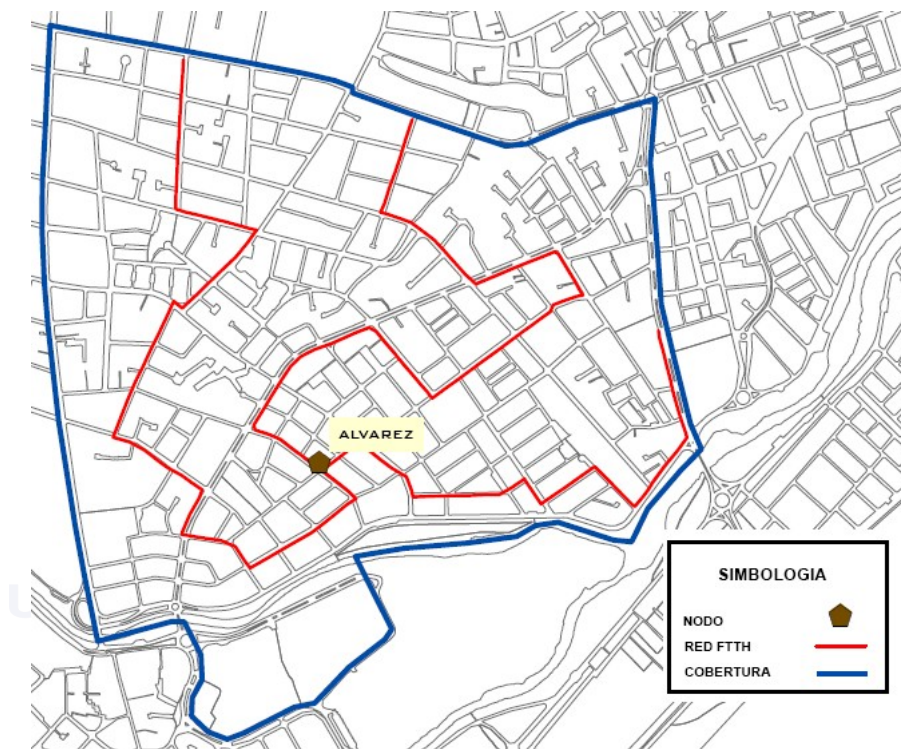


Figura 5.16: Cobertura Nodo Álvarez

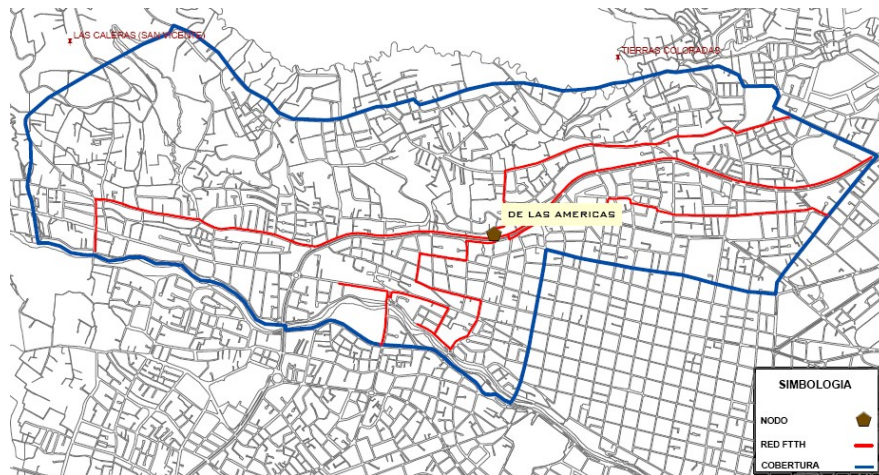


Figura 5.17: Cobertura Nodo de las Américas

- **Verticales:** Humboldt, Luis Cordero, Mariano Cueva, Antonio Vallejo.

Al Suroeste del Nodo:

- **Horizontales:** Vega Muñoz, Mariscal Lamar, Gran Colombia, Paseo 3 de Noviembre.
- **Verticales:** Octavio Cordero, Abram Sarmiento, Daniel Alvarado.

Al Sureste del Nodo:

- **Horizontales:** Héroes de Verdeloma, Rafael María Arízaga.
- **Verticales:** Tarqui, Luis Cordero.

#### 5.5.3.7. Nodo Arenal

Cubre la Parroquia San Sebastián, el Batán, sector Arenal y Medio Ejido (Figura 5.18). Contempla la ruta por las calles:

Al Noroeste del Nodo:

- **Horizontales:** Francisco Cisneros, Víctor Tinoco, Isauro Rodríguez.
- **Verticales:** Carlos Arízaga Vega, Carlos Berrezueta, Enrique Arízaga Toral, Daniel Fernández de Córdova.

Al Noreste del Nodo:

- **Horizontales:** Francisco Cisneros, Daniel Muñoz.

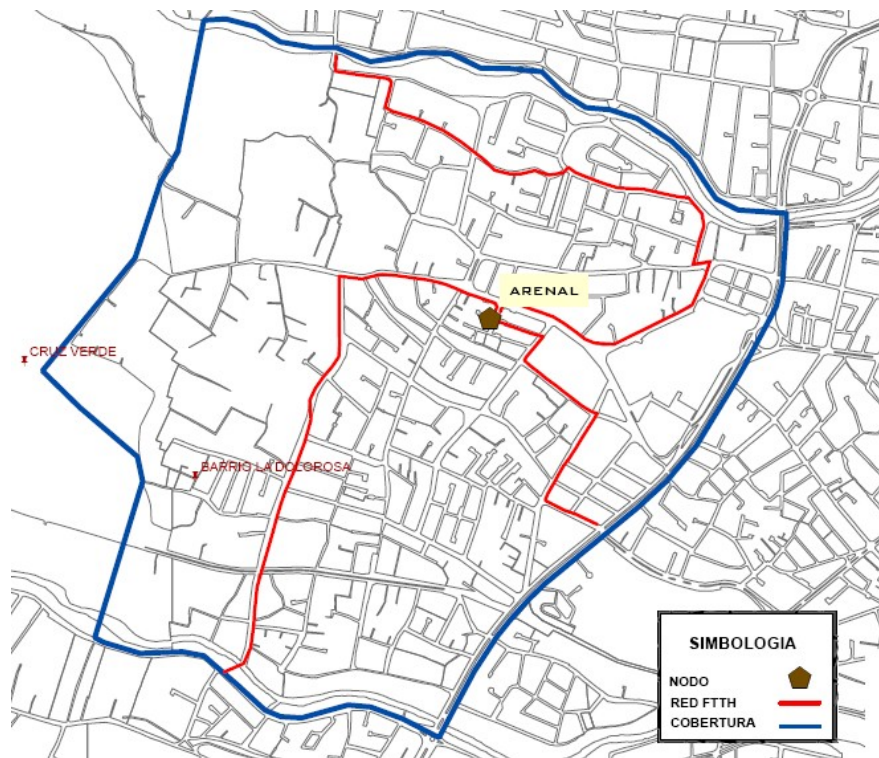


Figura 5.18: Cobertura Nodo Arenal

- **Verticales:** Carlos Arízaga Vega, General Escandón, Rafael Fajardo, Víctor Albornoz.

Al Suroeste del Nodo:

- **Horizontales:** Francisco Cisneros.
- **Verticales:** Carlos Arízaga Vega, Ángel María Estrella, Francisco Aguilar, Daniel Fernández Córdova, Enrique Arízaga Toral.

Al Sureste del Nodo:

- **Horizontales:** José Astudillo Ortega, Roberto Crespo Ordoñez, Avda. de las Américas.
- **Verticales:** Carlos Arízaga Vega, General Escandón, Los Cedros.

#### 5.5.3.8. Nodo Época

Cubre la Parroquia Sucre, El Batán, Avda. Remigio Crespo Sector el Arenal (Figura 5.19). Contempla la ruta por las calles:

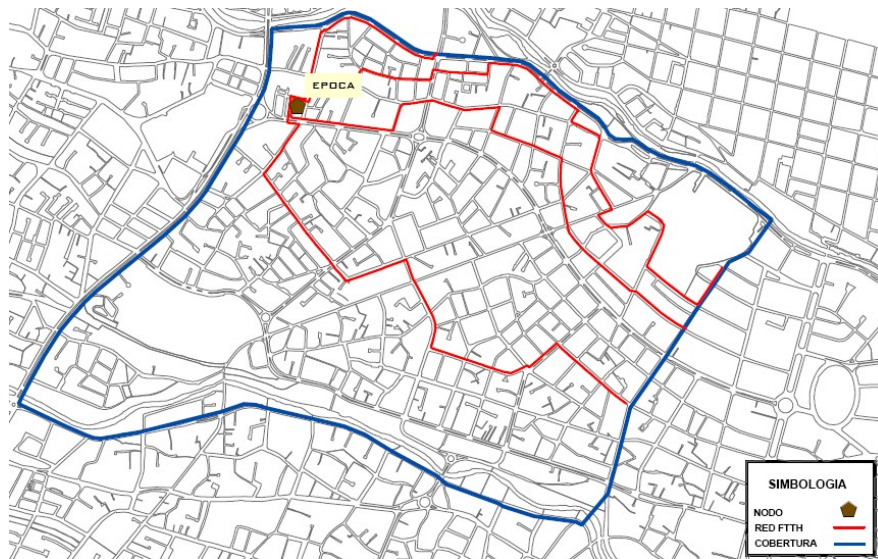


Figura 5.19: Cobertura Nodo Época

Al Noroeste del Nodo:

- **Horizontales:** Avda. de las Américas, Venezuela.
- **Verticales:** Remigio Crespo, Guayas, Avda. México, cantón Gualaceo.

Al Noreste del Nodo:

- **Horizontales:** Avda. de las Américas.
- **Verticales:** del Batán, 12 de Abril.

Al Suroeste del Nodo:

- **Horizontales:** República Dominicana, Unidad Nacional, Avda. Loja, Avda. Pichincha, Ricardo Muñoz Dávila.
- **Verticales:** Julio Matovelle, Gonzalo Cordero, Alfonso Moreno, Avda. 10 de Agosto.

Al Sureste del Nodo:

- **Horizontales:** Santa Cruz, Española, Unidad nacional, Guayas, Avda. Loja, Cueva.
- **Verticales:** Remigio Tamariz, del Batán, Galápagos, Honorato Loyola, Doce de abril.





### 5.5.3.9. Nodo Paucarbamba

Cubre las Parroquias Sucre, Huayna Capac, Avda. Remigio Crespo sector el Estadio (Figura 5.20). Contempla la ruta por las calles:

Al Noroeste del Nodo:

- **Horizontales:** Cornelio Merchán, Roberto Crespo, Avda. Solano.
- **Verticales:** Nicanor Aguilar, Avda. 10 de Agosto, Miguel Moreno, 27 de Febrero.

Al Noreste del Nodo:

- **Horizontales:** Miguel Cordero Dávila, Luis Moreno Mora, Manuel J. Calle, Florencia Astudillo.
- **Verticales:** Cornelio Merchán, Alfonso Cordero, Federico Malo, Avd. Solano.

Al Suroeste del Nodo:

- **Horizontales:** Francisco Moscoso, Juan Rosales, Francisco Estrella.
- **Verticales:** Rafael Torres Beltrán, Avda. 10 de Agosto, 27 de Febrero, Jacinto Flores.

Al Sureste del Nodo:

- **Horizontales:** Francisco Moscoso, Avda. Paucarbamba, las Herrerías.
- **Verticales:** Luis Moreno Mora, los Fresnos, Doce de abril.

### 5.5.3.10. Nodo Mall del Río

Cubre la Parroquia Yanuncay, todo el sector Mall del Río (Figura 5.21). Contempla la ruta por las calles:

Al Noroeste del Nodo:

- **Horizontales:** Felipe II, Fernando de Aragón, 12 de Octubre, Francisco de Orellana, Miguel de Cervantes.
- **Verticales:** Cristóbal Colon, Bartolomé de las Casas, Isabel la Católica, Primero de Mayo.

Al Noreste del Nodo:

- **Horizontales:** Domingo Sabio, Carlos Quinto, Federico Rojas.
- **Verticales:** Primero de Mayo.

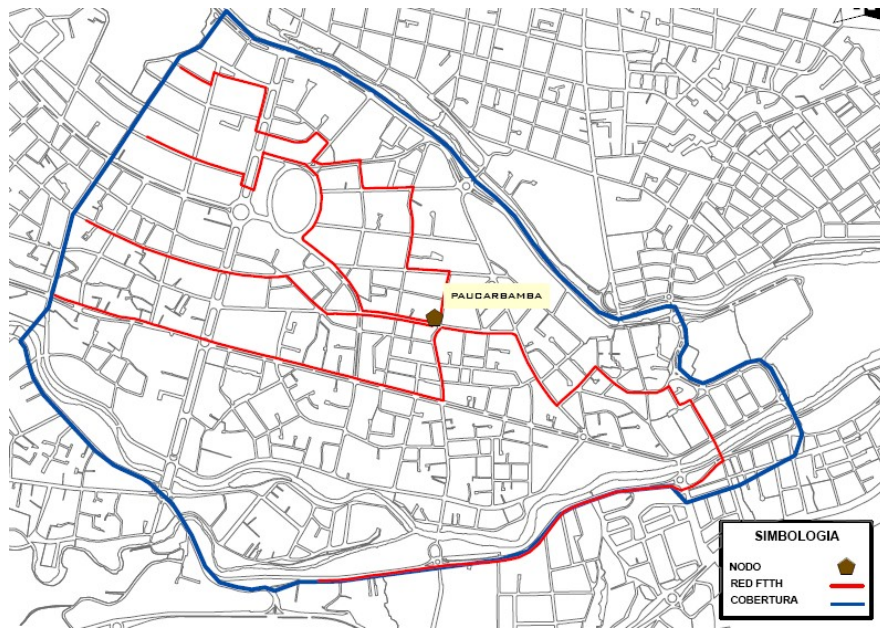


Figura 5.20: Cobertura Nodo Paucarbamba

Al Suroeste del Nodo:

- **Horizontales:** Felipe II, Fernando de Aragón, 12 de Octubre, Francisco de Orellana, Miguel de Cervantes.
- **Verticales:** Cristóbal Colon, Don Bosco, José Ortega y Gasset, Circunvalación Sur.

Al Sureste del Nodo:

- **Horizontales:** Domingo Sabio.
- **Verticales:** Don Bosco, José Ortega y Gasset, Circunvalación Sur.

#### 5.5.3.11. Nodo Control Sur

Cubre las parroquias Yanuncay, Baños, Avda. de las Américas sector sur (Figura 5.22). Contempla la ruta por las calles:

Al Oeste del Nodo:

- **Horizontales:** Manuel Quiroga, Manuel Cañizares, Vicente Mideros, Mariano Villalobos.
- **Verticales:** Vía Baños, Juan Larrea Guerrero, Juan Pio Montufar, Camino viejo a Baños, Luis Moscoso, Primero de Mayo.

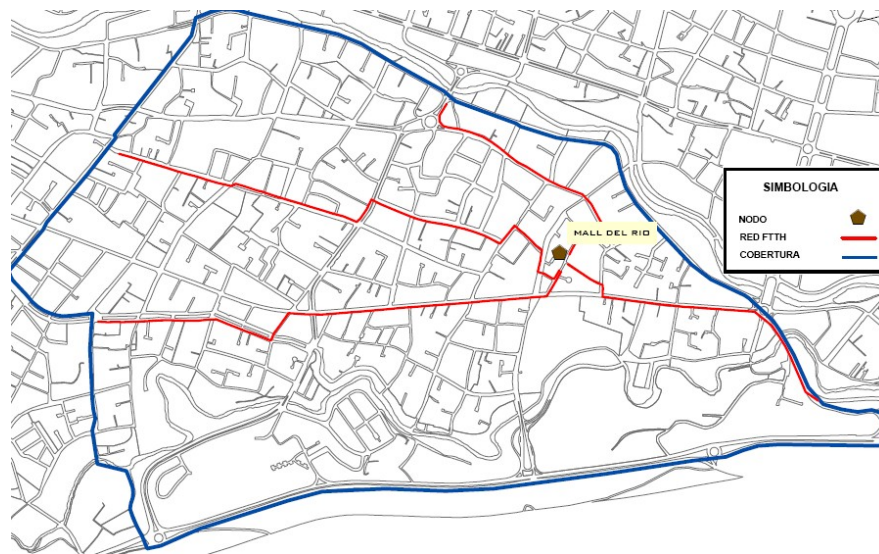


Figura 5.21: Cobertura Nodo Mall del Río

Al Este del Nodo:

- **Horizontales:** Avda. de las Américas, Gonzalo Díaz de Pineda, Rodrigo Arias de Mancilla, Avda. Loja, Santa María, Pedro Puelles.
- **Verticales:** Circunvalación Sur, Puerto de Palos, Avda. de los Conquistadores, Don Bosco, Isabel la Católica, Primero de Mayo.

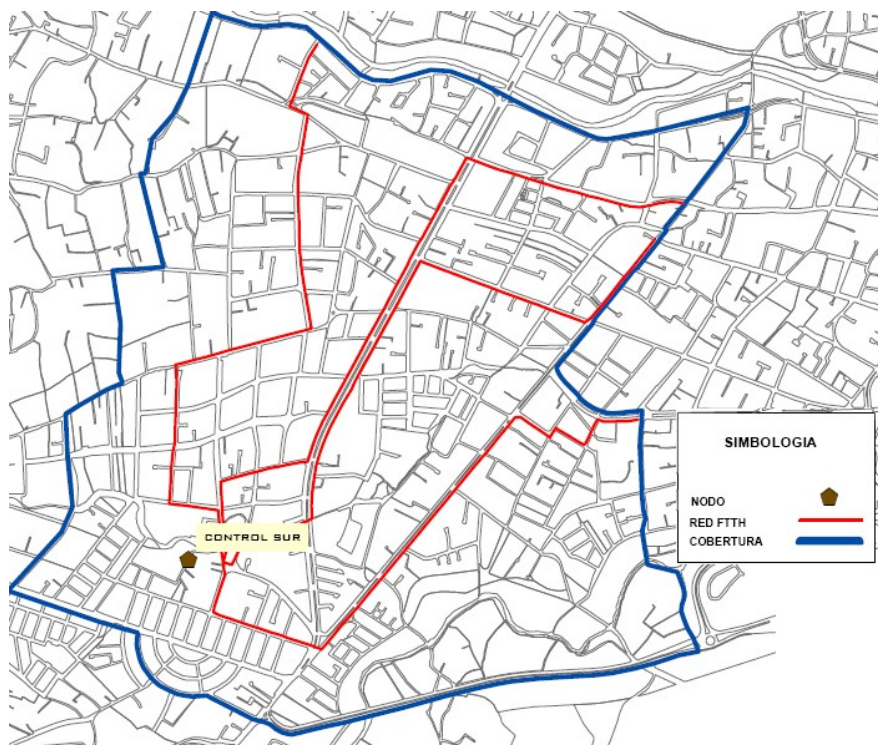


Figura 5.22: Cobertura Nodo Control Sur



## 5.6. Análisis Económico

En cada sector de cobertura del diseño, existen alrededor de 3000 clientes potenciales como mínimo que pueden captarse según el servicio que se ofrezca. Para el presente análisis económico se estipula una tarifa básica de servicio de Internet con un costo mensual de \$25 dolares más los costos adicionales que involucra la instalación en la vivienda. Para determinar la viabilidad del proyecto se realiza un análisis económico a 5 años, para confirmar la validez de inversión y verificar el tiempo de recuperación, mediante Previsión de Ventas (Elizondo Calderon, 2014).

El escenario inicial de ventas que se considera es el de captar 100 clientes por mes, es decir un total de 1200 clientes por año, ofreciendo servicio de Internet compartido de 4 a 1 en 4 Mb/s, es decir si se contrata un plan de Internet de 4 Mb/s, mientras los clientes que comparten el servicio no utilicen el Internet se tendrá todo el ancho de banda para el usuario, pero si uno llegase a conectar, entonces bajará a 2 Mb/s, y así de manera sucesiva hasta que existan cuatro usuarios conectados. El costo se plantea al valor de veinte y cinco dólares mensuales (\$25), un costo único de instalación por un valor de ochenta dólares (\$80), se obtiene la Tabla 5.9. Es decir el ingreso total que se proyecta captar en el primer año es de \$291,000.00 dólares (Anderson et al., 1995).

Sin cambiar los valores planteados inicialmente con respecto al costo mensual por servicio y por instalación, la proyección para los 5 años presenta los ingresos en la Tabla 5.10.

Meses	Proyección Acumulada de Clientes	Tarifa Mensual por Servicio	Ingresos Mensuales por Servicio	Ingresos por Instalación	Recaudacion	Valor Anual
1	100	\$ 25.00	\$ 2,500.00	\$ 8,000.00	\$ 10,500.00	
2	200	\$ 25.00	\$ 5,000.00	\$ 8,000.00	\$ 13,000.00	
3	300	\$ 25.00	\$ 7,500.00	\$ 8,000.00	\$ 15,500.00	
4	400	\$ 25.00	\$ 10,000.00	\$ 8,000.00	\$ 18,000.00	
5	500	\$ 25.00	\$ 12,500.00	\$ 8,000.00	\$ 20,500.00	
6	600	\$ 25.00	\$ 15,000.00	\$ 8,000.00	\$ 23,000.00	
7	700	\$ 25.00	\$ 17,500.00	\$ 8,000.00	\$ 25,500.00	
8	800	\$ 25.00	\$ 20,000.00	\$ 8,000.00	\$ 28,000.00	
9	900	\$ 25.00	\$ 22,500.00	\$ 8,000.00	\$ 30,500.00	
10	1000	\$ 25.00	\$ 25,000.00	\$ 8,000.00	\$ 33,000.00	
11	1100	\$ 25.00	\$ 27,500.00	\$ 8,000.00	\$ 35,500.00	
12	1200	\$ 25.00	\$ 30,000.00	\$ 8,000.00	\$ 38,000.00	\$ 291,000.00

Tabla 5.9: Proyección de Ventas del primer año



Periodo	Ingresos por Servicio
AÑO 1	\$ 291,000.00
AÑO 2	\$ 651,000.00
AÑO 3	\$ 1,011,000.00
AÑO 4	\$ 1,371,000.00
AÑO 5	\$ 1,731,000.00

Tabla 5.10: Resumen Proyección de Ventas Anual

Detalle	Inversión
Inversión Elementos Activos	\$ 306,000.00
Inversión Elementos Pasivos	\$ 339,946.30
Contratista (Construcción Red FTTH)	\$ 417,515.00
<b>Total</b>	<b>\$ 1,063,461.30</b>

Tabla 5.11: Inversión Inicial

### 5.6.1. Costos Establecidos

Los costos iniciales para la implementación y construcción de la red, además de los costos de inversión anuales se detallan a continuación:

- **Inversión fija:** La Inversión Inicial Fija se presenta en la Tabla 5.11.

Cada uno de los puntos señalados en la Tabla 5.11 se detalla a continuación:

- **Inversión Elementos Activos:** Los costos de los elementos activos están basados en los equipos utilizados en la red, se detalla el equipo agregador, los 11 equipos OLT, y una provisión de 2000 equipos ONT inicialmente, descritos en la Tabla 5.12:
- **Inversión Elementos Pasivos:** Estos costos están estimados por valores básicos referenciales del mercado actual, como se muestra en la Tabla 5.13.
- **Construcción red FTTH:** Estos valores establecidos están fundamentados mediante costos referenciados por personas con experiencia en el campo

Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Equipo Agregador	1	\$ 12,500.00	\$ 12,500.00
Equipos OLT	11	\$ 8,500.00	\$ 93,500.00
Equipos ONT	2000	\$ 100.00	\$ 200,000.00
<b>Total</b>			<b>\$ 306,000.00</b>

Tabla 5.12: Inversión Elementos Activos



Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Fibra adss 144 hilos (en metros)	76,500	\$ 2.92	\$ 223,380.00
Herrajes	2,470	\$ 2.20	\$ 5,434.00
Hebillas	4,840	\$ 1.10	\$ 5,324.00
Cajas cintas heriban	99	\$ 4.70	\$ 465.30
Organizador de fibra óptica (ODF)	42	\$ 150.00	\$ 6,300.00
Cajas de distribución	420	\$ 60.00	\$ 25,200.00
Casete organizador fibra	420	\$ 16.00	\$ 6,720.00
Casete organizador divisor óptico	420	\$ 12.70	\$ 5,334.00
Divisor optico 1:8	420	\$ 3.00	\$ 1,260.00
Mangas 3m para fibra 144 hilos	32	\$ 400.00	\$ 12,800.00
Pigtail de fibra	6,110	\$ 4.50	\$ 27,495.00
Patch de fibra	1,320	\$ 5.80	\$ 7,656.00
Cajas de tubillos	462	\$ 12.00	\$ 5,544.00
Cinta aislante	84	\$ 1.00	\$ 84.00
Amarras (fundas de 100)	22	\$ 5.00	\$ 110.00
Cintas para etiquetadora	42	\$ 20.00	\$ 840.00
Etiquetas para postes	1,200	\$ 5.00	\$ 6,000.00
<b>Total</b>			<b>\$ 339,946.30</b>

Tabla 5.13: Inversión Elementos Pasivos

de construcción de este tipo de redes, por lo tanto, están sujetos a cierta variación dependiendo de la negociación establecida, se muestra en la Tabla 5.14.

- **Inversión anual:** Los costos establecidos anualmente involucran el tener un convenio por el uso de postes de la ciudad con la Empresa Eléctrica CENTROSUR; la compra de equipos **ONT** que servirán para la instalación de nuevos clientes, ya que, se estableció empezar inicialmente con 2000 equipos para el primer año. En relación a los equipos, se estipula comprar 1000 por los años siguientes y prevenir

Detalle	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Tendido Fibra Óptica	76,500	\$ 0.38	\$ 29,070.00
Instalación de Herrajes	1,215	\$ 12.00	\$ 14,580.00
Instalación preformados para sujeción de postes	1,215	\$ 10.00	\$ 12,150.00
Instalación de Cajas de Distribución	220	\$ 15.00	\$ 3,300.00
Instalación de Mangas	21	\$ 50.00	\$ 1,050.00
Instalación de organizadores de fibra óptica	11	\$ 15.00	\$ 165.00
Fusiones red principal de fibra óptica	1,200	\$ 6.00	\$ 7,200.00
Costos por Transportación y otros imprevistos			\$ 350,000.00
<b>Total</b>			<b>\$ 417,515.00</b>

Tabla 5.14: Costos por construcción



Detalle	Inversión
Tasa por uso de postes (1 año)	\$ 120,000.00
Gastos imprevistos	\$ 6,000.00
Compra de equipos ONT (1,000 desde año 2)	\$ 100,000.00
Arriendos de locales anuales	\$ 4,800.00
Mantenimiento de la Red FTTH ( 1 año)	\$ 69,600.00
<b>Total</b>	<b>\$ 300,400.00</b>

Tabla 5.15: Inversión de Costos Variables Anuales

Periodo	Inversión	Pago Proveedor Ancho de Banda	Total Inversión
Año 1	\$ 200,400.00	\$ 24,000.00	\$ 224,400.00
Año 2	\$ 330,440.00	\$ 38,000.00	\$ 368,440.00
Año 3	\$ 363,484.00	\$ 51,000.00	\$ 414,484.00
Año 4	\$ 399,832.40	\$ 64,000.00	\$ 463,832.40
Año 5	\$ 439,815.64	\$ 75,000.00	\$ 514,815.64

Tabla 5.16: Inversión Anual por periodo

la falta de los mismos. Por otra parte, los costos anuales también implican los rubros por arriendos de los locales en donde están ubicados los equipos OLT y una oficina central: 12 locales de arriendo; el mantenimiento de la red en donde esta detallado personal y recursos de uso como el alquiler de vehículos. Se consideran dos grupos de técnicos para este parámetro, tal como se describe en la Tabla 5.15.

De igual forma, hay que considerar que el rubro por compra de equipos ONT para el primer año ya fue estipulado en la Inversión Inicial por tanto el costo al primer año será menos este rubro, es decir \$200400.00 dólares, también debe considerarse el rubro concerniente al incremento en 1 Gb anualmente para la distribución a nuevos clientes, además se incluye un incremento del 10% anual en los costos proyectados desde el segundo año, la Tabla 5.16 muestra estos rubros.

### 5.6.2. Tiempo de Recuperación de la Inversión

Se procede a confirmar la viabilidad del tema propuesto, usando dos conceptos financieros: el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Y, usando las estimaciones de flujo de caja descritas (ingresos, egresos) se obtiene los valores en la Tabla 5.17.

Según los cálculos realizados se nota un VAN y TIR positivo a partir del cuarto año, estimando este tiempo para recuperar la inversión, y a partir del mismo, tener la





Periodo	Inversión proyectada	Ingresos proyectados	Total	Tiempo de Recuperación
Inicial	(\$ 1,063,461.30)	\$ 0.00	(\$ 1,063,461.30)	(\$ 1,063,461.30)
Año 1	(\$ 224,400.00)	\$ 291,000.00	\$ 66,600.00	(\$ 996,861.30)
Año 2	(\$ 368,440.00)	\$ 651,000.00	\$ 282,560.00	(\$ 714,301.30)
Año 3	(\$ 414,484.00)	\$ 1,011,000.00	\$ 596,516.00	(\$ 117,785.30)
Año 4	(\$ 463,832.40)	\$ 1,371,000.00	\$ 907,167.60	\$ 789,382.30
Año 5	(\$ 514,815.64)	\$ 1,731,000.00	\$ 1,216,184.36	\$ 2,005,566.66

<b>TIR</b>	32%
<b>VAN</b>	\$1,053,538.59
<b>TIR 4to. Año</b>	19%
<b>VAN 4to. Año</b>	\$298,383.79

Tabla 5.17: Tiempo de Recuperación de la Inversión

rentabilidad indicada.



---

UNIVERSIDAD DE CUENCA  
*desde 1867*

---



## Capítulo 6

# Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1. Conclusiones

Las soluciones tecnológicas modernas requieren una infraestructura que soporte de forma continua los cambios tecnológicos para su buen funcionamiento; por tanto, la construcción de una red **GPON** cumple con este requisito.

Para diseñar una red de telecomunicaciones, es necesario utilizar una metodología, esto permitirá tener un mejor enfoque con respecto a los costos de inversión, en el presente documento se determina que se puede utilizar una metodología geográfica para realizar lo mencionado.

El concepto de “Ciudad Inteligente” requiere tener una tecnología robusta, que no sea impedimento de crecimiento para la comunidad. El factor económico es de mucha importancia para las empresas proveedoras de Internet. El diseño de esta red minimiza los costos de inversión, por lo que justifica su implementación.

El crecimiento de capacidad para brindar mayor ancho de banda se centra solamente en los equipos activos en esta tecnología, es decir, si se desea incrementar a un mayor ancho de banda global no se necesita cambiar la parte pasiva de la red propuesta.

Los operadores que consideren necesario realizar una inversión para actualizar su red a la tecnología **GPON**, tendrán múltiples beneficios, reduciendo sus costos de implementación, menos equipos activos de gestión, disminución en costos operativos para mantenimiento de la red.

Cuenca necesita una red **GPON** para los servicios que brindan las telecomunicaciones, al igual que otras ciudades del país, el uso del Internet y de otros servicios tecnológicos actualmente se consideran una necesidad básica de las personas.

El diseño propuesto en esta tesis cumple con los requerimientos necesarios para



la implementación de una red **FTTH**, tomando en cuenta aspectos relevantes desde el punto de vista usuario (servicios) y desde el punto de vista de la inversión (rentabilidad).

## 6.2. Recomendaciones

Se recomienda:

Utilizar todos los beneficios que posee este tipo de tecnología, pues al tener mayor ancho de banda, se puede conseguir mayor número de servicios y aplicaciones con una excelente calidad en el servicio que se brinda a los hogares de la ciudad.

Tener una red estable y operativa todo el tiempo, considerando siempre la redundancia de los nodos para el funcionamiento continuo del servicio (disponibilidad), con esto los clientes no percibirán alguna incidencia de falla en la red por parte del operador.

Para la implementación de la red es mejor trabajar con “planos georeferenciados”, con esto se proyectará mejor el área de cobertura desde una caja de distribución, facilitando inclusive el trabajo en planta externa.

El despliegue aéreo de fibra es el más común por la existencia de postes, en este caso es recomendable llegar a un acuerdo con la Empresa Eléctrica Regional Centrosur para el uso de los mismos.

Aunque la parte céntrica de la ciudad de Cuenca no es considerada en el presente documento por ser patrimonio cultural, se recomienda instalar fibra soterrada para cubrir este sector en un futuro.

El operador que invierta en la tecnología **GPON** obtendrá muchos beneficios económicos en esta ciudad, pues la implementación de una red **FTTH** actualmente está considerada solamente para ofrecer el servicio de Internet hasta los hogares, se recomienda para un futuro implantar el equipamiento activo necesario para ofrecer los servicios *Triple-Play*, sin cambiar físicamente la red.

La infraestructura de Cuenca, es apta para la implementación de un sistema de este tipo, por lo que es importante proponer un diseño sustentable y pertinente vinculado a los intereses y necesidades de la comunidad cuencana, ya que, al ser considerada una ciudad moderna resguarda un sinnúmero de elementos propios de la modernidad. Es indudable que el crecimiento poblacional, incluso generacional, requiera de avances tecnológicos que le permitan cubrir sus necesidades actuales.



# Apéndices

UNIVERSIDAD DE CUENCA  
*desde 1867*





## Apéndice A

# Diseño de una red de fibra hasta el hogar para la Ciudad de Cuenca (artículo científico)

UNIVERSIDAD DE CUENCA  
*desde 1867*



La principal herramienta de investigación en el Ecuador

Estimado  
Victor Heredia

Por medio de la presente deseamos informarle que su trabajo "Diseño de una Red de Fibra hasta el Hogar para la Ciudad de Cuenca" fue aceptado para presentar en el cuarto Congreso Ecuatoriano de Tecnologías de Información y Comunicación TIC EC 2016 que se llevará a cabo del 16 al 18 de noviembre de 2016 en la ciudad de Guayaquil, Universidad Católica Santiago de Guayaquil - UCSG.

Además, su trabajo será publicado en la revista Maskana indexada en latindex de la Universidad de Cuenca.

Atentamente,

Comité Organizador TIC.EC



rec. 21/vii/2016.



# Diseño de una Red de Fibra hasta el Hogar para la Ciudad de Cuenca

Víctor Heredia Sandoval<sup>1</sup>, Darwin Astudillo-Salinas<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Dirección de Postgrados, Universidad de Cuenca, 12 de abril S/N y Agustín Cueva, Cuenca, Ecuador, 010101.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones (DEET), Universidad de Cuenca, 12 de abril S/N y Agustín Cueva, Cuenca, Ecuador, 010101.

Autores para correspondencia: victor.heredia@ucuenca.ec, fabian.astudillos@universidad1.edu

Fecha de recepción: 5 de Mayo 2016 - Fecha de aceptación: 16 de Junio 2016.

## ABSTRACT

This article presents a *Fiber To The Home* (FTTH), for the city of Cuenca at the Azuay province in Ecuador. The design goal is to bring home a large volume of information; taking into account that every time there are telecommunications services that require higher bandwidth. Therefore, it should be considered a technology to reach most households with the lowest cost of implementation, and respecting the technical/esthetical standards for laying cables in the city.

Keywords: *FTTH, GPON, Digital City, Triple-Play.*

## RESUMEN

Este artículo presenta el diseño de una red de fibra hasta el hogar (FTTH por sus siglas en inglés), para la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay en Ecuador. El objetivo del diseño es llevar a los hogares un gran volumen de información; tomando en cuenta que cada vez existen servicios de telecomunicaciones que requieren un mayor ancho de banda. Por tanto, se consideró una tecnología que permita llegar a la mayor parte de hogares con el menor costo de implementación, y respetando las normativas técnicas/estéticas para el tendido de cables en la urbe.

Palabras clave: *FTTH, GPON, Ciudad Digital, Triple-Play.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Las grandes ciudades se han convertido en lugares tecnológicos en cualquier espacio, tales como centros comerciales, parques, centros de estudio, y los hogares. Estas ciudades cuentan hoy en día con una variedad de servicios tecnológicos que requieren una gran demanda de ancho de banda. Cuenca es considerada entre las ciudades más importantes del Ecuador, y pionera en avances tecnológicos con el proyecto “Cuenca Ciudad Digital” bajo el impulso presente desde el gobierno autónomo descentralizado de esta ciudad para contar con soluciones tecnológicas actuales con el fin de que se convierta en una ciudad inteligente (Municipalidad de Cuenca, 2015).

Partiendo de esta premisa, es necesario contar con una infraestructura física tecnológica moderna, basada en fibra óptica, como *FTTH* (*Fiber To The Home*). Esta tecnología permite alcanzar un mayor ancho de banda comparada con el par de cobre. Actualmente, el coste de instalación de *FTTH* es más rentable que otros tipos de tecnologías. Una de las ventajas de esta tecnología es que soporta sobre su infraestructura servicios convergentes del tipo *Triple-Play*.

Los operadores de telecomunicaciones actualmente esperan recibir más beneficios al tener operativa una red *FTTH*, por su fácil despliegue y por la forma ágil de conexión e instalación hacia los clientes brindando un mayor ancho de banda. La evolución de este tipo de red se ha convertido en un tema clave para las telecomunicaciones, ciertos estándares como el *ITU-T2008* (ITU-T, Recommendation L.36, 2009) rigen el tema *NGN* (*Next Generation Networking*) cuyo fin es ofrecer varias aplicaciones en los servicios de voz, datos, video, optimizando la operación de la red y asegurando el tráfico en la misma, es decir una red multi-servicio (ITU-T, Recommendation L.36, 2009).

55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Tecnología PON

Las redes *PON* (*Passive Optical Network*) usan dispositivos pasivos<sup>1</sup>; en su entorno de dispersión física no existen dispositivos activos (*switchs*, *routers*), su despliegue es mediante el cable de fibra óptica. Los dispositivos activos se encuentran en los extremos de la red de acceso; *OLT* (*Optical Line Terminal*) en la oficina central, y *ONT* (*Optical Network Terminal*) en el hogar. Esta tecnología es la usada en redes tipo *FTTH*; su evolución hace referencia a las mejoras en los protocolos de comunicación y a los estándares que los regularizan (Abreu M., 2010).

Actualmente, las tecnologías más usadas son las denominadas *EPON* (*Ethernet Passive Optical Network*) y *GPON* (*Gigabit-capable Passive Optical Network*), en la **Tabla 1** se muestra sus características.

**Tabla 1.** Características de EPON y GPON

	EPON	GPON
Estándares	EPON IEEE 802.3ah, GePON IEEE 802.3ah	GPON ITU G.984
Tipo Transmisión	Ethernet	Ethernet, ATM, TDM
Upstream	1310nm	1310nm
Downstream	1490nm (voz y datos IP), 1510nm (Video)	1490nm (voz y datos IP), 1510nm (Video)
Ancho de Banda	<= 1,25 Gbps Simétrico	<= 2.5 Gbps simétrico o asimétrico
Año de Creación	2004 EPON, 2005 GePON	2004

72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88

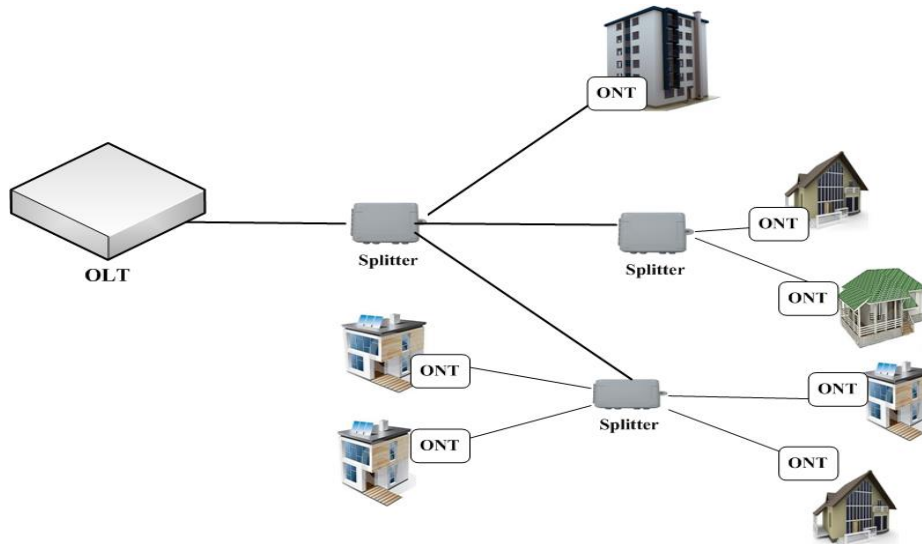
La diferencia principal está en que *EPON* permite solo trabajar en Ethernet, mientras que *GPON* permite transmisiones *TDMA* (*Time Division Multiple Access*), *ATM* (*Asynchronous Transfer Mode*) o también Ethernet (Abreu M., 2010).

### 2.2 Arquitectura de una red FTTH.

Una red *GPON* para *FTTH* está conformada por elementos activos y pasivos. Los elementos activos están a los extremos de la red de acceso. El equipo en la oficina central se denomina *OLT* y en los clientes *ONT*. Dentro del equipamiento activo se considera también el equipo “Agregador”.

Dentro de los elementos pasivos de la red, se tienen los divisores ópticos (*splitters*). Éstos se encargan de dividir la señal transmitida por el cable de fibra óptica en varias bifurcaciones. Los tipos de niveles de divisor óptico más usados son de 1: 8 y de 1: 16. También se tienen los conectores, y empalmes de fusión; que son instalados a lo largo del despliegue del cable de fibra óptica (Hutcheson, 2008). La **Figura 1** ilustra una red *FTTH* con tecnología *GPON*.

<sup>1</sup> Dispositivos Pasivos son aquellos elementos físicos que no necesitan de alimentación eléctrica para su funcionamiento.



**Figura 1.** Componentes de una Red FTTH con tecnología GPON.

### 2.3 Cálculo del presupuesto del enlace óptico, pérdidas de potencia

Teóricamente un *OLT* y un *ONT* pueden estar conectados aproximadamente a 20 Km de distancia (ITU-T, 1997), esto depende de la potencia de transmisión ( $P_t$ ) del equipo *OLT*, la pérdida total en la trayectoria ( $L$ ) hasta el ONT y la sensibilidad del equipo ONT ( $P_r$ ), (ITU-T, Recommendation G.984.2, 2003), Ecuación 1.

$$P_r = P_t - L \quad (1)$$

La señal óptica sufre pérdidas en el trayecto al atravesar el cable de fibra óptica, específicamente en donde existan empalmes de fusión o conexiones de elementos pasivos, los valores de estas pérdidas dependen del fabricante y de los materiales de fabricación. Las pérdidas totales están expresadas en la Ecuación 2.

$$L = L_{cable} + L_{splitter} + L_{fusion} + L_{conector} \quad (2)$$

Dónde:

- $L_{cable}$ : Pérdida de potencia de la señal óptica, que atraviesa el cable de fibra.
- $L_{splitter}$ : Pérdida en los divisores ópticos, su valor depende del nivel de divisor óptico que se tenga.
- $L_{fusion}$ : Pérdida en los empalmes por fusiones, depende también del equipo que se utilice.
- $L_{conector}$ : Pérdida en los conectores.

Para el diseño se consideran los valores detallados en la Tabla 2, los cuales se encuentran en las recomendaciones (ITU-T, Recommendation G.652, 2001) y (ITU-T, Recommendation G.984.2, 2003).

**Tabla 2.** Pérdidas Teóricas del Diseño  
**CÁLCULO DE PÉRDIDAS TEÓRICAS**

Elemento	Pérdida Unit. en dB	Observaciones (Valores según el Fabricante)
Cable dB/Km	0.35	Para Longitud de Onda en 1310 nm (subida)
Patch Cord	1.00	Incluye Fusiones y empalmes del cliente
Acopladores ODF (dB)	1.00	Según el estándar
Acopladores BMX (dB)	1.00	Según el estándar

Empalmes Mangas	0.03	Según el equipo que se utiliza
Empalmes <i>Patch Cord</i>	0.03	Según el equipo que se utiliza
<i>Splitter</i> 1:8	9.80	Según el estándar
<i>Splitter</i> 1:16	14.30	Según el estándar
Margen Tiempo	1.00	Según el estándar
Otras Perdidas	1.00	Según el estándar

120  
121  
122  
123

Los umbrales mínimos y máximos entre *OLT* y *ONT* se definen en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Valores de Potencia (ITU-T, 1997).

Parámetros	VALORES DE UMBRAL	
	OLT	ONT
Potencia máxima de emisión	+5 dBm	+5 dBm
Potencia mínima de emisión	+1.5 dBm	+0.5 dBm
Sensibilidad mínima	-28 dBm	-27 dBm
Saturación de Recepción	> -8 dBm	> -8 dBm

124  
125  
126  
127  
128  
129  
130  
131  
132  
133  
134

#### 2.4 Modelos de estimación para el despliegue de una red FTTH

La implementación de una red *FTTH* requiere de una gran inversión en infraestructura, especialmente al adquirir los cables de fibra óptica, si no se tiene un cálculo real de la necesidad a cubrir puede caer en costos elevados (sobredimensionamiento); por este motivo, es importante contar con un modelo de estimación que permita dimensionar de mejor manera todos los componentes necesarios para el diseño de la red. En función de los resultados obtenidos en el artículo (Mitsenkov A., 2011), el modelo con el que se logra una mejor estimación es el geográfico.

135  
136

### 3. DISEÑO DE LA RED FTTH PROPUESTA.

137  
138  
139  
140  
141  
142  
143

Para el caso de estudio la estimación de componentes se basa en un modelo geográfico, ya que se cuenta con la información *GIS* (*Geographic Information System*) de la ciudad, lo que permite realizar un diseño preciso y establecer valores confirmados para la inversión en el despliegue de construcción.

Para calcular la distancia máxima de despliegue de la red se considera los valores de pérdidas teóricas totales descritos en la Tabla 2, la potencia de salida del equipo *OLT*, y la sensibilidad del equipo *ONT*. Este diseño usará los equipos *OLT* EP-3116 (Tellion, 2010), y *ONT* EP-3204G (Tellion, 2009), ambos de marca Tellion<sup>2</sup>.

144  
145  
146  
147

- La potencia de salida ( $P_t$ ) del equipo *OLT* es de 1.5 dB.
- La sensibilidad el equipo *ONT* ( $S$ ) es de -27 dB.
- La pérdida total teórica es de 25.81 dB.

Reemplazando valores en la ecuación 1 se tiene:

$$P_r = P_t - L$$

$$P_r = 1.5 \text{ dB} - 25.81 \text{ dB}$$

$$P_r = 24.31 \text{ dB}$$

148

<sup>2</sup> <http://www.tellion.com/>

149 El Margen del enlace ( $M$ ) es la diferencia de la sensibilidad del equipo ONT ( $S$ ) y la pérdida de  
 150 potencia en la trayectoria ( $P_r$ ):

$$M = S - P_r$$

$$M = -27dB - (-24.31dB)$$

$$M = -2.69 dB$$

151 Hay que considerar también que la distancia es óptima cuando los valores son superiores a  $-1 dB$   
 152 en el margen de enlace, por lo tanto:

$$M = -2.69 dB - (-1dB) = -1.69dB$$

153  
 154 La distancia máxima ( $d$ ) se obtendrá de la relación entre el margen del enlace ( $M$ ) con respecto  
 155 al valor de pérdida del cable de fibra óptica utilizado  $L_{cable}$  :

$$d = \frac{|M|}{L_{cable}}$$

$$d = \frac{1.69 dB}{0.35 dB}$$

$$d = 4.82 Km.$$

159 Por lo tanto, la distancia máxima de la fibra entre los equipos OLT y ONT, es de 4.82 Km. Sin  
 160 embargo el diseño propuesto considera la distancia máxima hasta 4 Km por temas de resguardo en  
 161 incidencias que se pueden presentar en el tiempo de uso de la red.

162 Las pérdidas que se obtienen a 4 Km de distancia, con dos niveles de divisores ópticos de (1:8),  
 163 además de las pérdidas en el resto de elementos pasivos se detallan en la Tabla 4.

164  
 165  
 166 **Tabla 2.** Pérdida de Potencia Total a una distancia de 4 Km.

<b>CÁLCULO DE PÉRDIDAS DEL DISEÑO</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Pérdida Unitaria en dB</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Pérdidas Totales en dB</b>
Cable dB/Km	0.35	4 Km	1.40
<i>Patch Cord</i>	1.00	2	2.00
Acopladores ODF (dB)	1.00	1	1.00
Acopladores BMX (dB)	1.00	1	1.00
Empalmes Mangas	0.03	7	0.21
Empalmes <i>Patch Cord</i>	0.03	0	0.00
<i>Splitter</i> 1:8	9.80	2	19.60
<i>Splitter</i> 1:16	14.30	0	0.00
Margen Tiempo	1.00	1	1.00
Otras Pérdidas	1.00	1	1.00
			<b>27.21</b>

167  
 168 En la Tabla 5 se muestra el Cálculo del enlace:

169  
 170 **Tabla 3.** Cálculo de Enlace de distancia óptima.

<b>CÁLCULO DE ENLACE</b>	
<b>DETALLE</b>	<b>VALOR</b>
Potencia Salida <i>OLT</i> [dBm]	1.5

Sensibilidad <i>ONT</i> [ <i>dBm</i> ]	-27
Potencia Recepción Teórica [ <i>dBm</i> ]	-25.71
<b>MARGEN RESTANTE ENLACE</b>	<b>-1.29</b>

171  
172  
173  
174  
175  
176  
177  
178  
179  
180  
181  
182  
183  
184  
185  
186  
187  
188  
189  
190  
191  
192

La potencia de recepción teórica es la diferencia entre las pérdidas teóricas totales que se detallaron en la Tabla 4 (27.21 *dB*) y la potencia de salida del OLT (1.5 *dB*). El valor del margen restante del enlace es la diferencia entre la sensibilidad del equipo *ONT*, en este caso -27 *dB* del equipo EP-3204G marca Tellion, y la potencia de recepción teórica obtenida (-25.71 *dB*). El margen del enlace como se nota es superior a -1*dB*, con lo cual se establece niveles óptimos a una distancia de 4 Km.

Una mejor explicación del diseño propuesto se indica en la **Figura 2**, en donde se procede a segmentar una parte del mismo entre dos nodos<sup>3</sup>, donde cada uno tendrá un equipo *OLT*. El despliegue del cable de fibra óptica se realizará mediante Cajas de Dispersión (*CD*), las mismas que serán colocadas cada dos cuadras hasta llegar al siguiente nodo logrando de esta forma tener redundancia, es aquí donde se tiene el divisor óptico de primer nivel (*Splitter* Nivel 1, 1:8), desde cada *CD* se desplegará la red perpendicularmente hacia las viviendas de los usuarios, sean estas unitarias o múltiples, las cajas de repartición en el punto final toman el nombre de Cajas *Home* (*HOM*), dependiendo del sector de atención se proyecta el segundo nivel de división óptica (*Splitter* nivel 2, 1:4, 1:8). La longitud a cubrir en la extensión del servicio tal como se indicó se sugiere sea hasta 4 Km desde el *OLT* hasta la vivienda de atención (cliente).

La **Figura 2** muestra el diseño de despliegue, se indica distancias desde el origen de salida de la señal óptica, hasta llegar al cliente, el número de *CD* entre cada ruta se considera máximo de 20 cajas, las *HOM* pueden llegar a servir en el trayecto que sea necesario siempre y cuando cumpla con la distancia fijada. El “Agregador” es el equipo activo central que actúa agregando el tráfico de todos los nodos de la red, se puede sugerir el equipo Cisco Catalyst 4900M (CISCO, 2016).

<sup>3</sup> En informática y telecomunicaciones un nodo es el espacio físico que servirá como punto de intersección para las conexiones físicas cercanas al mismo.

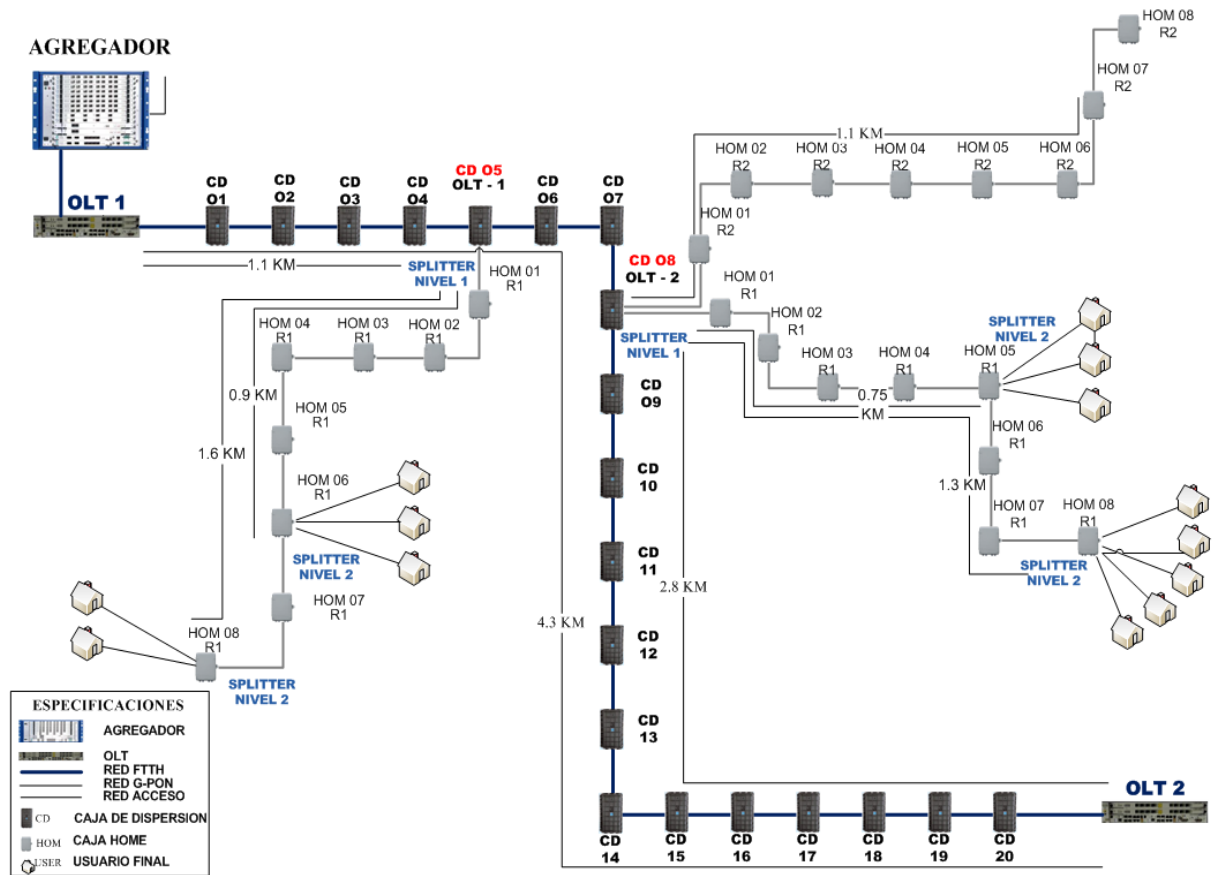


Figura 2. Diseño de despliegue Red FTTH entre dos nodos.

Con las distancias mostradas en la Figura 2 se calcula las pérdidas ópticas en base a cada distancia considerada como despliegue de la red hasta llegar al divisor óptico de segundo nivel; se obtiene el valor de potencia óptica recibida, y se confirma que está dentro de los niveles óptimos de funcionamiento ( $-27\text{ dB}$ ), Tabla 4 (Mahmoud, 2014).

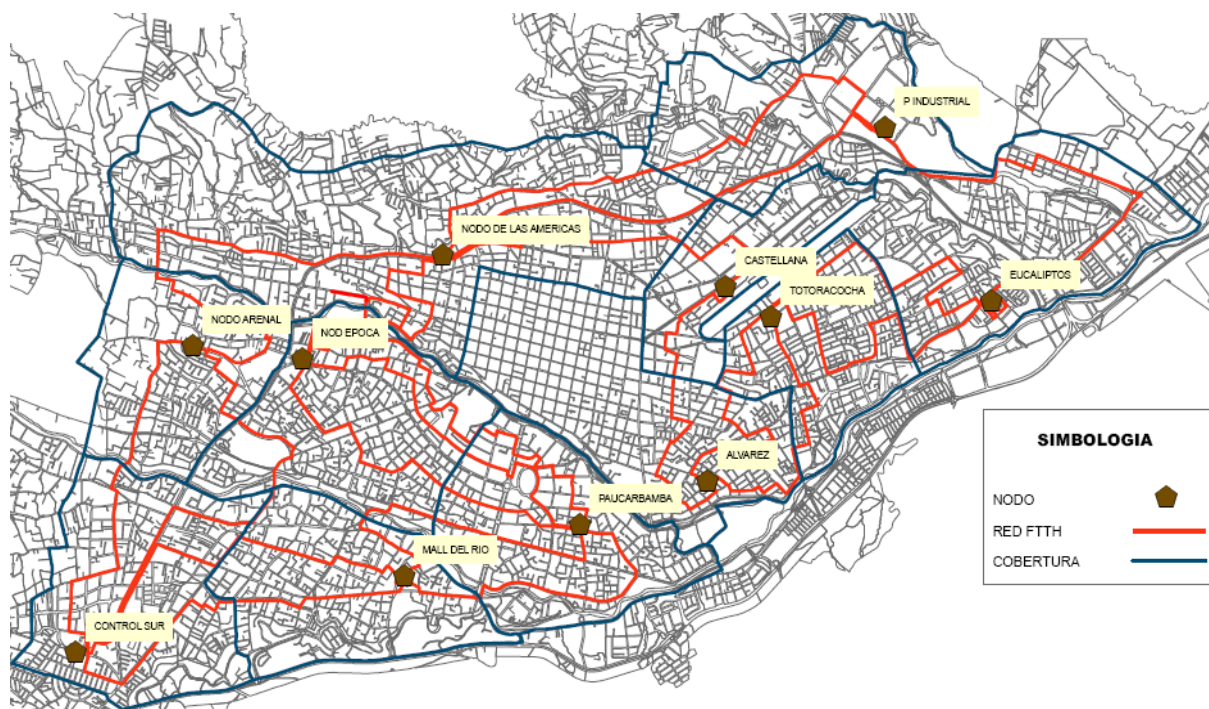
Tabla 4. Cálculo pérdidas ópticas Figura 4

CÁLCULO DE POTENCIA ÓPTICA PARA EL DISEÑO DE LA RED FTTH PROPUESTA									
OLT Dependencia	Código CD	Código HOM	OLT - CD Distancia (metros)	CD - HOM Distancia (metros)	OLT - HOM Distancia (metros)	# de Empalmes (fusiones)	Pérdida por Empalme (-dB)	Nivel Splitter	Potencia Recibida
2	CD 08 / R1	HOM 08 / R1	2817	1320	4137	6	0.03	2	-25.728
2	CD 08 / R1	HOM 05 / R1	2817	756	3573	6	0.03	2	-25.5306
2	CD 08 / R2	HOM 07 / R2	2817	1114	3931	6	0.03	2	-25.6559
1	CD 05 / R1	HOM 06 / R1	1123	937	2060	6	0.03	2	-25.001
1	CD 05 / R1	HOM 06 / R1	1123	1612	2735	6	0.03	2	-25.2373
1	CD 05 / R1	HOM 06 / R1	5000	2000	7000	8	0.03	2	-26.79

Finalmente, se muestra el diseño de la red en la Figura 3, utilizando ArcGIS<sup>4</sup>, se sectoriza la ciudad por zona de cobertura entre los nodos considerados para cubrir la misma, en el diseño se considera únicamente los sectores donde existen postes; por lo tanto, el centro histórico de Cuenca no se incluye dentro de este diseño. Los nodos propuestos están distribuidos geográficamente a 4 Km cumpliendo con el cálculo óptimo que se obtuvo, y cubrirán el área de despliegue según se considere importante en

<sup>4</sup> ArcGIS comprende una serie de aplicaciones para gestión de información geográfica.

209 el ámbito comercial; en la Figura 5 las líneas trazadas de color rojo representan la red primaria, en  
210 donde estarán instaladas las CD, y las líneas de color azul muestran el área de cobertura.  
211



212 **Figura 3.** Red FTTH para la ciudad de Cuenca

#### 216 4. CONCLUSIONES

217 Las soluciones tecnológicas modernas requieren una infraestructura que soporte de inmediato los  
218 cambios tecnológicos para su buen funcionamiento; por tanto, la construcción de una red GPON cum-  
219 ple con este requisito.

220 El concepto de “ciudad inteligente” requiere tener una tecnología robusta, que no sea impedimen-  
221 to de crecimiento para la comunidad. El factor económico es de mucha importancia para las empresas  
222 proveedoras de Internet. El diseño de esta red minimiza los costos de inversión, por lo que justifica su  
223 implementación.

224 El crecimiento de capacidad para brindar mayor ancho de banda se centra solamente en los equi-  
225 pos activos en esta tecnología, es decir que si se desea incrementar a un mayor ancho de banda global  
226 no se necesita cambiar la parte pasiva de la red propuesta.

227 Cuenca necesita una red GPON para los servicios que brindan las telecomunicaciones, al igual  
228 que otras ciudades del país, el uso del Internet y de otros servicios tecnológicos actualmente se consi-  
229 deran una necesidad básica de las personas.

#### 233 5. BIBLIOGRAFÍA

234 Abreu M., C. A. (25 de 02 de 2010).

235 *web\_descarga\_179\_CaractersticasgeneralesredfibrapticaalhogarFTTH.-VVAA*  
236 *CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA AL HOGAR (FTTH).*

237 Recuperado el 22 de 05 de 2016, de Universidad de Montevideo:

238 [http://www.um.edu.uy/\\_upload/\\_descarga/web\\_descarga\\_179\\_CaractersticasgeneralesredfibrapticaalhogarFTTH.-VVAA.pdf](http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_179_CaractersticasgeneralesredfibrapticaalhogarFTTH.-VVAA.pdf)

239 CISCO. (16 de 04 de 2016). Cisco Catalyst 4900M Switch. United Sates.

240 FTTH Council. (Octubre de 2008). Fibra a la Casa. Obtenido de <http://www.bbpmag.com/>.



- 243 Hutcheson, L. (2008). FTTx: Current Status and the Future. *IEEE Communications Magazine*, 91-95.
- 244 ITU-T, R. G. (1 de 12 de 1997). SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL  
245 SYSTEMS AND NETWORKS . Ginebra, Suiza.
- 246 ITU-T, Recommendation L.36. (2009). Series L: Construction, installation and protection of cables and  
247 other elements outside plant. Ginebra: ITU.
- 248 ITU-T, Recommendation G.652. (15 de 05 de 2001). SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND  
249 MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS. Recuperado el 02 de 06 de 2016, de ITU:  
250 <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-200010-S/es>
- 251 ITU-T, Recommendation G.984.2. (28 de 10 de 2003). SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS  
252 AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS. Ginebra, Romana, Suiza.
- 253 Mahmoud, A.-Q. (05 de 04 de 2014). Design and Implementation of a Fiber to the Home FTTH  
254 Access Network based on GPON. Baghdad, Iraq.
- 255 Mitsenkov A., K. M. (26 de 09 de 2011). Geometric versus Geographic Models for the Estimation of  
256 an FTTH Deployment. Budapest, Hungary.
- 257 Municipalidad de Cuenca. (Abril de 2015). *MUNICIPALIDAD DE CUENCA PRESENTA*  
258 *PROYECTO "CUENCA, CIUDAD DIGITAL"*. Obtenido de  
259 [http://www.etapa.net.ec/Noticias/newid/79/title/MUNICIPALIDAD\\_DE\\_CUENCA\\_PRESEN](http://www.etapa.net.ec/Noticias/newid/79/title/MUNICIPALIDAD_DE_CUENCA_PRESEN)  
260 [TA\\_PROYECTO\\_CUENCA\\_CIU](http://www.etapa.net.ec/Noticias/newid/79/title/MUNICIPALIDAD_DE_CUENCA_PRESEN)  
[DAD\\_DIGITAL](http://www.etapa.net.ec/Noticias/newid/79/title/MUNICIPALIDAD_DE_CUENCA_PRESEN)
- 261 Tellion. (15 de 07 de 2009). GE-PON Product Series for Cost-Effective FTTP. Seoul, Korea.
- 262 Tellion. (23 de 04 de 2010). Brochure EP-3116\_Rev.1.1\_100423, E-PON Optical Line Terminal for  
263 Cost-Effective FTTP. Seoul, Korea.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
*desde 1867*



## Bibliografía

- Al-Quzwini, M. M. (2014). Design and implementation of a fiber to the home ftth access network based on gpon. *International Journal of Computer Applications*, 92(6).
- Alcívar Mendoza, D. A. (2015). *Estudio para la implementación de una red Gpon de Teleconet SA en la comunidad de Juan Gómez Rendón (PROGRESO)*. Ph.D. thesis, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industrial, Carrera de Ingeniero en Teleinformática.
- Anderson, R. E., Hair, J. F., Bush, A. J., Almada, M. G. C., & Almada, J. C. (1995). *Administración de ventas*. McGraw-Hill.
- ARCOTEL (2016). Cuentas y usuarios del servicio de acceso a internet.
- Barrera, L. C. (2010). Empalme de fibra óptica.  
URL [https://www.academia.edu/8263552/empalme\\_de\\_fibra\\_%C3%B3ptica](https://www.academia.edu/8263552/empalme_de_fibra_%C3%B3ptica)
- CARMONA GIRALDO, P. A., & MONTES TORRES, P. A. (2013). Diseño y simulación de una red óptica pasiva (pon) para prestar servicios triple play a un conjunto residencial.
- Castillo Jaramillo, M. C., & Figueroa Torres, S. F. (2013). Determinación de la demanda, dimensionamiento y diseño de una red de servicios de telecomunicaciones, mediante la tecnología de acceso ftth en el cantón gualaceo para la empresa cnt ep.
- CISCO (2016). Cisco catalyst 4900m switch. Tech. rep., CISCO.
- Committee, D. (2014). FTTH Handbook. Tech. Rep. 6, FTTH Council Europe.
- Corning (2013). Empalmes.  
URL <http://www.corning.com/california/es.html>
- Corning Landscape (2010). Impacto en la conectividad óptica. Tech. rep., Corning Landscape.



- EERCS (2009). Utilización de postes de distribución de energía eléctrica para sistemas de telecomunicaciones. Tech. rep., EERCS.
- Elizondo Calderon, C. R. (2014). Pronóstico de ventas.
- FTTH Council Europe (2016). FTTH Conference 2016 Event Report. In *FTTH Conference*.
- FTTH Council LATAM (2015). Latinoamérica a la velocidad de la luz. Tech. rep., FTTH Council LATAM.
- Furukawa (2014). Cable óptico DROP FIG.8 FTTH. Tech. rep., Furukawa.
- Galeano Corchero, J. (2009). Diseño e instalación de una red ftth. Tech. rep., Universidad Carlos III de Madrid.
- Hoernig, S., Jay, S., Neumann, K.-H., Peitz, M., Plückerbaum, T., & Vogelsang, I. (2012). The impact of different fibre access network technologies on cost, competition and welfare. *Telecommunications Policy*, 36(2), 96–112.
- Huawei (2010). Global first all-in-one access platform. Tech. rep., Huawei.
- Huawei (2012). Next Generation PON Evolution. Tech. rep., Huawei.
- Huihong Technologies Limited (2010). Lc fiber optic patch cable cord. Tech. rep., Huihong Technologies Limited.
- INEC (2011). CENSO 2010. Tech. rep., INEC.
- ITU-T (2001). Características de las fibras y cables ópticos monomodo. *Recommendation G.652*.
- ITU-T (2003). Series G: Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks. *Recommendation G.984.2*.
- Joskowicz, J. (2008). Breve historia de las telecomunicaciones. *Universidad de la República..*
- Kantor, M., Wajda, K., Lannoo, B., Casier, K., Verbrugge, S., Pickavet, M., Wosinska, L., Chen, J., & Mitscenkov, A. (2010). General framework for techno-economic analysis of next generation access networks. In *2010 12th International Conference on Transparent Optical Networks*, (pp. 1–4). IEEE.



- Keiser, G. (2006). *FTTX concepts and applications*, vol. 91. John Wiley & Sons.
- Kwon, J.-W., Park, J.-W., & Lee, J.-h. (2006). Passive optical network. US Patent App. 11/442,042.
- lafibraoptica-peru.com (2012). Diseño de las redes de fibra óptica.  
URL <http://lafibraoptica-peru.com/disenio-de-las-redes-de-fibra-optica/>
- LATAM, F. (2016). Fttth latam conference.
- Lattanzi, M., & Graf, A. (2008). Redes fttx conceptos y aplicaciones. *IEEE Argentina*.
- López Polo, E. D. (2016). Diseño de una red de fibra óptica para la implementación en el servicio de banda ancha en coishco (ancash).
- Mitscenkov, A., Kantor, M., Casier, K., Lannoo, B., Wajda, K., Chen, J., & Wosinska, L. (2013). Geometric versus geographic models for the estimation of an FTTH deployment. *Telecommunication Systems*, 54(2), 113–127.
- Nilsson-Gistvik, S., Lo Curzio, L., & Serrander, H. (2007). A guide-line on how to build fiber optic access networks—FTTX networks.
- Radioenlace (2014). Tipo de Fibra Óptica Monomodo y Multimodo.  
URL <http://www.radio-enlace.com>
- Santa Cruz, O. M. (2013). *Módulo Introductorio: principios generales del sistema de fibra óptica*.
- Shaik, J. S., Patil, N., et al. (2005). Fttth deployment options for telecom operators. *Sterlite Optical Technologies Ltd., White Paper*, (pp. 1–9).
- Sharma, N., & Garg, M. (2015). Investigation on triple play fttth pon 10gb/s for 156 onus. In *International Journal of Engineering Development and Research*, vol. 3. IJEDR.
- Teleste Video Networks (2007). Optical Splitters and WDM. Tech. rep., Teleste Video Networks.
- Tellion (2009). Ge-pon product series for cost-effective fttp. Tech. rep., Tellion.
- Tellion (2010). E-pon optical line terminal for cost-effective fttp. Tech. rep., Tellion.
- Tellion (2015). E-pon : Ep-3116. Tech. rep., Tellion.



TIA (2014). Optical fiber cable color coding.

Uzcátegui, L., & Triviño, J. (2011). NGN: Next Generation Network.



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
*desde 1867*