

## 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: 19 de junio del 2016 - Fecha de aceptación: 24 de julio del 2016

### ABSTRACT

This article presents a *Fiber To The Home* (FTTH), for the city of Cuenca in the province of Azuay, Ecuador. The design goal is to bring to homes an unlimited volume of information, which will be accompanied by the need that telecommunication services every time require larger bandwidth. Foregoing means that a technology is needed that reaches 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).

## 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.

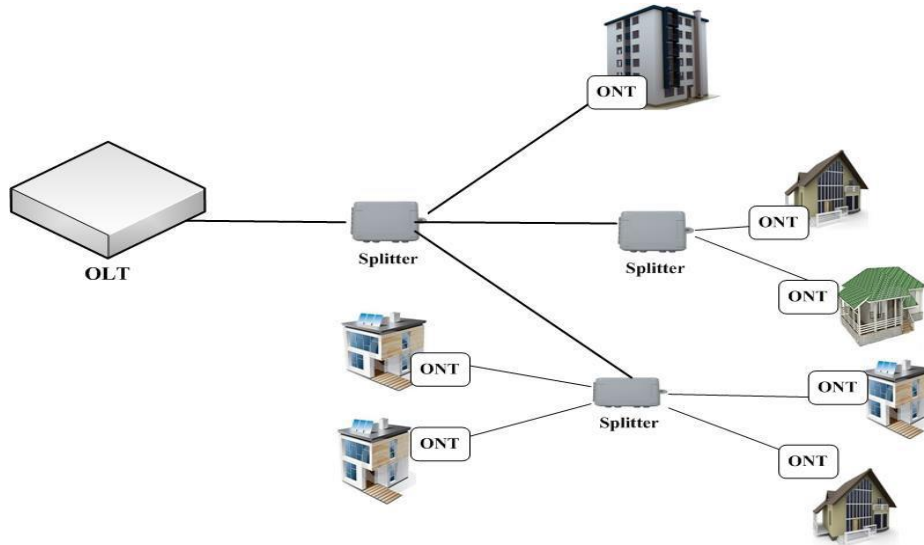
	EPON	GPON
Estándares	EPON IEEE 802.3ah, GePON IEEE 802.3ah	GPON ITU G.984
Tipo transmisión	Ethernet	Ethernet, ATM, TDM
Upstream	1310nm	1310nm
Downstream	1490nm (voz y datos IP), 1510nm (Video)	1490nm (voz y datos IP), 1510nm (Video)
Ancho de banda	<= 1,25 Gbps Simétrico	<= 2.5 Gbps simétrico o asimétrico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

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, 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 y de. 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 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.

$$P_r = P_t - L \tag{1}$$

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.

$$L = L_{cable} + L_{splitter} + L_{fusion} + L_{conector} \tag{2}$$

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	Observaciones (Valores según el fabricante)
Cable (dB/Km)	0.35	Para Longitud de Onda en (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 Patch Cord	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

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

#### 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 (Mitscenkov, 2011), el modelo con el que se logra una mejor estimación es el geográfico.

### 3. DISEÑO DE LA RED FTTH PROPUESTA

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 teóricos 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>.

- 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:

$$P_r = P_t - L$$

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

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

$$M = S - P_r$$

$$M = -27 \text{ dB} - (-24.31 \text{ dB})$$

$$M = -2.69 \text{ dB}$$

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

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

$$M = -2.69 \text{ dB} - (-1 \text{ dB}) = -1.69 \text{ dB}$$

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  $L_{cable}$ :

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

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

$$d = 4.82 \text{ Km.}$$

Por lo tanto, la distancia máxima de la fibra entre los equipos OLT y ONT, es de 4.82 Km. Sin embargo, el diseño propuesto considera la distancia máxima hasta por temas de resguardo en incidencias que se pueden presentar en el tiempo de uso de la red. Las pérdidas que se obtienen a de distancia, con dos niveles de divisores ópticos de (4 Km), además de las pérdidas en el resto de elementos pasivos se detallan en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Pérdida de potencia total a una distancia de 4 Km.

Elemento	Pérdida Unitaria en dB	Cantidad	Pérdidas Totales en dB
Cable dB/Km	0.35	4 Km	1.40
Patch Cord	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 Patch Cord	0.03	0	0.00
Splitter 1:8	9.80	2	19.60
Splitter 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>

En la Tabla 5 se muestra el cálculo del enlace.

**Tabla 5.** Cálculo de enlace de distancia óptima.

<i>Cálculo de enlace</i>	
Detalle	Valor
Potencia Salida OLT [dBm]	1.5
Sensibilidad ONT [dBm]	-27
Potencia Recepción Teórica [dBm]	-25.71
Margen restante enlace	-1.29

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).

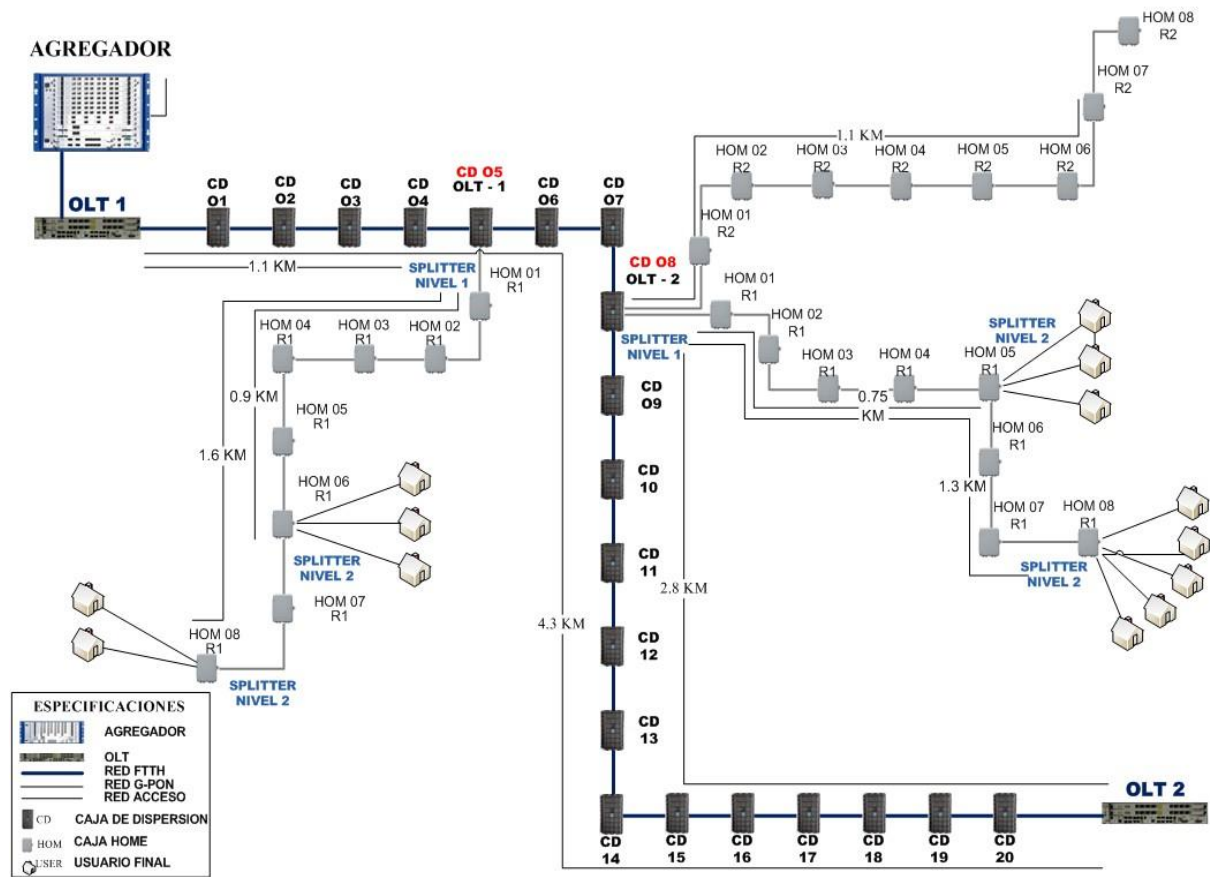


Figura 2. Diseño de despliegue Red FTTH entre dos nodos.

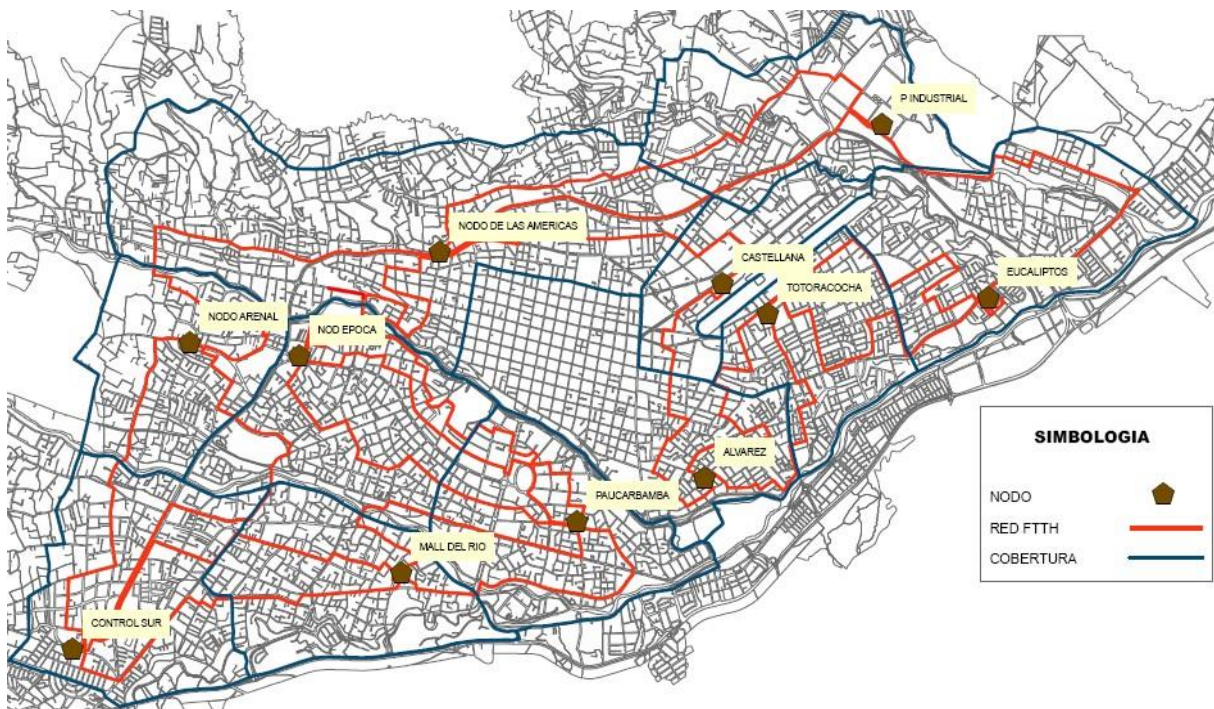
Con las distancias mostradas en la Figura 2 se calcula las pérdidas ópticas en base a cada distancia considerada como despliegue de la red hasta llegar al divisor óptico de segundo nivel; se obtiene el valor de potencia óptica recibida, y se confirma que está dentro de los niveles óptimos de funcionamiento (-27 dB) (Tabla 6, Al-Quzwini, 2014).

<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.

**Tabla 6.** Cálculo pérdidas ópticas.

CÁLCULO DE POTENCIA ÓPTICA PARA EL DISEÑO DE LA RED FTTH PROPUESTA									
OLT Dependencia	Código CD	Código HOM	OLT - CD	CD - HOM	OLT - HOM	# de Empalmes (fusiones)	Pérdida por Empalme (-dB)	Nivel Splitter	Potencia Recibida
			Distancia (metros)	Distancia (metros)	Distancia (metros)				
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 el ámbito comercial; en la Figura 5 las líneas trazadas de color rojo representan la red primaria, en donde estarán instaladas las CD, y las líneas de color azul muestran el área de cobertura.



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

#### 4. CONCLUSIONES

Las soluciones tecnológicas modernas requieren una infraestructura que soporte de inmediato los cambios tecnológicos para su buen funcionamiento; por tanto, la construcción de una red GPON cumple con este requisito. El concepto de “ciudad inteligente” requiere tener una tecnología robusta,

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

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 que si se desea incrementar a un mayor ancho de banda global no se necesita cambiar la parte pasiva de la red propuesta.

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.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, M., A. Castagna, P. Cristiani, P. Zunino, E. Roldós, G. Sandler, 2010. *Características generales de una red de fibra óptica al hogar (FTTH)*. Memoria de trabajos de difusión científica y técnica, núm. 7. Disponible en [http://www.um.edu.uy/\\_upload/\\_descarga/web\\_descarga\\_179\\_CaracteristicasgeneralesredfibrapticalhogarFTTH.-VVAA.pdf](http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_179_CaracteristicasgeneralesredfibrapticalhogarFTTH.-VVAA.pdf)
- 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 (0975-8887)*, 92(6), 30-42.
- CISCO, 2016. *Cisco catalyst 4900M switch*. United Sates: Cisco. Disponible en <http://www.cisco.com/c/en/us/products/switches/catalyst-4900m-switch/index.html>.
- FTTH Council, 2008. *Fibra a la casa*. Disponible en de <http://www.bbpmag.com/>.
- Hutcheson, L., 2008. FTTx: Current Status and the Future. *IEEE Communications Magazine*, 91-95.
- ITU-T, R.G., 1997. *Series G: Transmission systems and media digital systems and networks*. Ginebra, Suiza: ITU.
- ITU-T, Recommendation L.36, 2009. *Series L: Construction, installation and protection of cables and other elements outside plant*. Ginebra, Suiza: ITU.
- ITU-T, Recommendation G.652, 2001. *Series G: Transmission systems and media, digital systems and networks*. Ginebra, Suiza: ITU, <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-200010-S/es>.
- ITU-T, Recommendation G.984.2, 2003. *Series G: transmission systems and media, digital systems and networks*. Ginebra, Suiza: ITU.
- Mitsenkov A., M. Kantor, K. Casier, B. Lannoo, K. Wajda, J. Chen, L. Wosinska, 2011. Geometric versus geographic models for the estimation of an FTTH deployment. *Telecommunication Systems*, 54(2), 113-127.
- Municipalidad de Cuenca, 2015. *Municipalidad de Cuenca presenta proyecto "Cuenca, ciudad digital"*. Disponible en [http://www.etapa.net.ec/Noticias/newid/79/title/MUNICIPALIDAD\\_DE\\_CUENCA\\_PRESENTA\\_PROYECTO\\_CUENCA\\_CIUADAD\\_DIGITAL](http://www.etapa.net.ec/Noticias/newid/79/title/MUNICIPALIDAD_DE_CUENCA_PRESENTA_PROYECTO_CUENCA_CIUADAD_DIGITAL).
- Tellion, 2009. *GE-PON Product series for cost-effective FTTP*. Seoul, Korea.
- Tellion, 2010). *Brochure EP-3116\_Rev.1.1\_100423, E-PON Optical line terminal for cost-effective FTTP*. Seoul, Korea.