

# Planificación y diseño de redes FTTH basadas en zonificación y servicios

A. Cortés<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación, Universidad de Panamá  
antonio.cortes@up.ac.pa

**Resumen:** el objetivo en esta investigación es proponer un mejor entendimiento en la planificación y diseño de redes FTTH en combinación con las redes GPON. Para lograr este mejor entendimiento se diseña un escenario experimental, al tomar como referencia el contexto de las redes de próxima generación, se encuentran las redes FTTH (Redes multiservicio por fibra óptica hacia la casa de cada usuario) que vienen a cubrir una gran demanda, como el ancho de banda y la prestación de servicios que ofrecen las operadoras a sus clientes. En este artículo consideramos soluciones para la planificación y el diseño de la red a partir de redes de acceso a fibra, basadas en tecnología GPON (Red Óptica Pasiva Gigabit), al considerar la red de fibra óptica y los nodos de acceso desde la perspectiva de un operador tradicional. Para el diseño de la red de fibra óptica, se consideran aspectos relacionados con los tipos de servicios como telefonía usando VoIP, HSI (Internet de alta velocidad) e IPTV (Televisión por Protocolo de Internet) con señales HD (de alta definición), números de clientes, FTTH por bloque, zonificación por clientes, canalizaciones, ancho de banda de subida y bajada y características técnicas a nivel de los nodos de acceso y la red de fibra óptica.

**Palabras claves:** Redes FTTH, tecnologías GPON, planificación de la red, diseño de la red, red de fibra óptica, nodos de acceso.

**Title:** Planning and Designing of FTTH Networks Based on Zoning and Services

**Abstract:** the aim in this research is to propose a better understanding in the planning and design of FTTH networks combined with GPON networks. To achieve this better understanding is designed an experimental stage, taking as reference the context of next generation are networks, are the nets FTTH (fiber optic multiservice networks toward the house of every user) who come to cover a large demand, as the bandwidth and the provision of services that offer the operators to their customers. In this article we consider solutions for the planning and design of the network from accessing networks to fiber, based on technology GPON (Gigabit Passive Optical Network), to consider the optical fiber network and the access nodes from the perspective of a traditional operator. For the design of the fiber optic network, they are considered aspects related with the types of services such as telephony using VoIP, HSI (High Speed Internet) and IPTV (TV over Internet Protocol) with HD signals (high definition), numbers of customer, FTTH per block, zoning by customers, channels, bandwidth up and down and technical characteristics at the level of the access nodes and the fiber optic network.

**Key words:** FTTH networks, GPON technology, network planning, design of the network, fiber optic network, access nodes.

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 22 de mayo de 2016

Fecha de aceptación: 16 de noviembre de 2016

## 1. Introducción

La creciente demanda de servicios tales como datos, video y acceso a Internet de alta velocidad por parte de los usuarios hace que los proveedores de dichos servicios tengan que proponer nuevas estrategias en las tecnologías de acceso para satisfacer las exigencias de los clientes.

En este contexto se encuentran las redes de acceso FTTH que proveen un ancho de banda mayor y mejor calidad en el servicio para los clientes residenciales. Esta tecnología se divide en dos categorías: activas y pasivas [6]. Las redes ópticas activas (AONs), como se observa en la figura 1, utilizan una topología tradicional Ethernet punto a punto (EP2P), con fibra óptica dedicada (OF) entre el switch de la oficina central (CO) o un nodo remoto (RN) y una línea o terminal de red óptica (ONU/ONT) hacia el usuario final, por lo que requiere de CAPEX/OPEX. CAPEX, es el gasto de capital o inversiones que hace una empresa para adquirir o actualizar activos fijos, físicos, no consumibles. Por tanto, en esta investigación el CAPEX se refiere a inversiones óptimas y al compromiso que habrá que hacer para armonizar las distintas mejoras para poder garantizar lo planificado y también la posible evolución en el diseño de la red. OPEX, son los gastos operacionales referidos a los costos del día a día. En este caso, los OAM (Costos Administrativos y de Mantenimiento) se intentarán reducir al disminuir las acciones y los tiempos de administración y reparación de la red para cada usuario, debido al uso exclusivo de puertos en CO y OSP. Este tipo de topologías son utilizadas en redes de acceso en edificios (FTTB), debido a que el promedio de subida de datos se da en Gb/seg en la configuración de los equipos [7], [5].

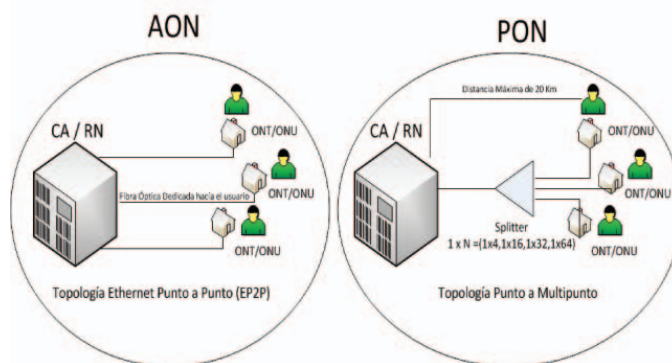


Figura 1. Topologías de AON (Ethernet Punto a Punto) y PON (Punto a Multipunto).

Por otra parte, las redes ópticas pasivas (PONs), utilizan tres tipos de topologías: Punto a Punto, Punto a Multipunto Activo y Punto a Multipunto Pasivo. La topología (EP2P), determina que para X usuarios se requiere instalar N fibras en el canal de comunicación dependiendo

de la distancia a cubrir. No obstante, se requiere de la ubicación de un conector eléctrico – óptico en la OLT y ONT, respectivamente, en total  $2xN$  conectores. En el caso de la topología (P2MA), para  $X$  clientes, se necesita instalar una fibra para el mayor tramo a cubrir, aparte, se requiere del uso de conector electro-óptico en la ONT y el *Curb Switch*, respectivamente, en total  $2xN+2$  conectores. Además, la topología (P2MP), para  $X$  usuarios, necesita la instalación de una fibra de acuerdo con el recorrido a cubrir. Por cada cliente, se requiere instalar un conector electro-óptico, tanto en la ONT como en la OLT, para un total de  $N+1$  conectores. La ventaja de esta topología, es que el *splitter* óptico pasivo, que es el elemento intermedio entre la ONT y la OLT, no requiere de una fuente eléctrica de alimentación. De aquí su nombre de una red óptica pasiva o PON. Esta topología es la de menor costo.

La topología (P2MP) incorpora en sus estándares a las redes ópticas pasivas Gigabit (GPON) y las redes ópticas pasivas Ethernet (EPON) [8]. Las características específicas de la capa de convergencia de transmisión (TC) se definen en la recomendación G.984.3 de ITU-T, [9]. La capa TC en un sistema GPON se compone de dos subcapas: una subcapa de entramado y otra subcapa de adaptación. La subcapa de entramado tiene tres funciones entre las que sobresalen el multiplexado y demultiplexado, la generación y decodificación de la cabecera y el enrutamiento interno de tramas. Por otro lado, la subcapa de adaptación debe proporcionar dos adaptadores, de acuerdo a las recomendaciones de la G.984.3, que son el adaptador a la interfaz GPON y el adaptador a la interfaz OMCI (Interfaz de gestión y control de la terminación óptica de la red). Las dos subcapas son las responsables de los diversos servicios que pueden ofrecer las operadoras en un momento determinado. Las pilas de protocolos, métodos para DBA (Asignación de Ancho de Banda Dinámicos), métodos de activación de ONTs, monitorización de prestaciones y algoritmos de encriptación y redundancia soportados por la capa de convergencia y sus subcapas se ajustan a lo especificado en la recomendación G.984.3. En el estándar ITU-T G.984 [10], las tramas Ethernet son encapsuladas dentro de la GTC (Capa de Convergencia en un sistema GPON), mediante el método de encapsulamiento (GEM), generando el formato GEP-like, derivado del procedimiento de una trama genérica, bajo el estándar (ITU G.7401). Las tramas GEM son encapsuladas dentro de la GTC, como SONET y SDH, por lo que se obtienen velocidades de transmisión de bajada, en un sistema de comunicación sincrónico de 1.25 Gb/seg o 2.5 Gb/seg, mientras que de subida, los promedios pueden oscilar entre los 622 Mb/seg, 1.25 G o 2.5 G; en comparación con las redes ópticas pasivas de próxima generación (XG-PON) donde las bajadas y subidas oscilan entre los (10G/2.5G), respectivamente, por lo que, han sido estandarizadas en XG-PON1 y 10G/10G en XG-PON2 [ITU-T G.987, 2010]. El estándar IEEE 802.3 ah EPON, basado en tecnología Ethernet, tiene una capacidad simétrica de un 1G, el cual puede ser actualizado a 10G/10G (bajada y subida), mediante el estándar IEEE 802.3 av; al transportar tramas Ethernet sin fragmentación y soportando solo 32 usuarios [11].

A continuación, se analizan algunos trabajos relacionados con la Planificación y Diseño de redes FTTH basadas en zonificación y servicios que han de proporcionarse.

En [2] propone el diseño y la implementación de una red FTTH

basada en una arquitectura GPON a través un caso de estudio denominado Baghdad/Al-Gehad, el cual forma parte de la red de telecomunicaciones y compañía postal (ITPC) de Iraq. En esta publicación, se plantea la necesidad de establecer un número de puertos de red PON, en base al promedio de tiempo de acceso a los diversos tipos de servicios que llevan a cabo los usuarios y a su vez, el poder garantizar a través del operador de servicios, Al-Gehad, una adecuada capacidad de transporte de los datos en la red FTTH. Además, se introducen los costos de optimización de la distribución de cables, cables de alimentación y el total de costos de la red FTTH a través de la tecnología GPON, con respecto al número de clientes.

A su vez, [1] y [14], recoge en las publicaciones de otros autores, dedicados al planeamiento y diseño de redes FTTH, aspectos relacionados con la eficiencia de las redes FTTH, costos de implementación, modelado de las redes FTTH, cambios relacionados con las redes de próxima generación PONs, entre otros aspectos relevantes. La propuesta es una nueva implementación de este tipo de redes FTTH, denominado marcas OLT, con protección de clase B. La finalidad de implementar esta protección clase B en los puertos OLT es poder garantizar por un lado el proceso de redundancia de los *splitters* con respecto a la OLT y por otro, mantener la comunicación entre los cables de comunicación que van conectados a los *splitters* en caso de fallos, lo que permite establecer y mantener los niveles de comunicación bidireccionales mínimos, de manera tal que el sistema de la red FTTH GPON continúe funcionando con normalidad en caso de los usuarios demanden el consumo de nuevos servicios. El funcionamiento de la red FTTH debe ser continuo en todo momento de manera que se garantice la calidad en el servicio que ofrecen las operadoras a sus clientes.

La propuesta de [5] presenta soluciones para el planeamiento y diseño de las redes FTTH basadas en el proveedor de servicios u operador. Considera aspectos relacionados con administración de componentes para este tipo de redes, herramientas de mapeo, diseño y automatización de recursos, administración de infraestructura, materiales, aspectos geográficos, casas, edificios y bases de datos de los usuarios. Por otra parte, el autor menciona el aspecto dinámico y el ciclo de vida de una red. Por dinámico, se entiende que la red en proceso de planificación y diseño, como efectivamente se propone en esta investigación, va a cubrir extensas áreas ocupadas por zonas rurales, ciudades, residencias familiares, casas de veraneo, entre otros aspectos, lo que hace que la red tenga que mantener el servicio que brinda a través de sus distintos operadores los 7 días de la semana y las 24 horas del día, con breves interrupciones para el mantenimiento preventivo y correctivo. Con respecto al ciclo de vida, dentro del proceso de planificación y diseño de la red, hay que prever una adaptación de la infraestructura a las nuevas tecnologías que vayan surgiendo con el tiempo, a fin de no quedar obsoleta con el paso del tiempo. Por consiguiente, los aspectos que plantea este autor guardan mucha relación con los puntos fundamentales antes mencionados, que esbozan [2], [1] y [12], respectivamente.

Sin embargo, [3], también establece los elementos de la red FTTH, con respecto a la ubicación de las oficinas centrales (CO) y nodos, cables de alimentación y su configuración. Además, considera la localización geográfica económica (GEL), ya que no todas las áreas,

esquinas o manzanas tienen las mismas características y número de casas y usuarios. Hay que tener en cuenta que, para una densidad uniforme, la posición ideal del nodo o punto de referencia debe ser en la mitad de las áreas que sirven. Muchos de los aspectos que plantea [4], guardan relación con el estudio que se propone en este trabajo a nivel de planificación y diseño de redes FTTH basadas en zonificación y servicios que han de proporcionarse.

Otro trabajo de gran interés en el ámbito de la planificación y diseño de las redes FTTH es el de [8]. Su propuesta incluye los elementos de una red genérica FTTH, en donde se destaca la capa de datos, la red óptica, la terminal de casa. También establece la compatibilidad a nivel de elementos de las redes FTTH con los sistemas HFC, que son fibras híbridas: soportan cobre y fibra óptica, en forma simultánea en el mismo canal de comunicación. Estos elementos comunes se relacionan con la potencia eléctrica de los equipos, la compatibilidad con el ancho de banda, los terminales de soporte, los interfaces de datos, el protocolo de voz, la calidad del servicio (QoS), entre otros aspectos relevantes.

De esta forma, [13] expone en su trabajo, que un planificador de la red comienza con una gran área dentro de un alcance de una oficina central (CO) que se divide en sub-áreas que son planificadas individualmente. Asimismo, este proceso de división manual consume tiempo y no permite optimizar los costos asignados al diseño de la red, por lo que el investigador propone una herramienta de software que ayude al planificador de la red a la ubicación de los elementos de una red FTTH, así como una correcta distribución de los costos en que se incurren en este tipo de redes.

En el caso concreto que se presenta en esta memoria, la planificación y diseño de redes FTTH basadas en zonificación y servicios que han de proporcionar se inicia con un área extensa, identificada como un área rural, la cual contiene a su vez una serie de pueblos, que se sub-dividen en casas familiares, casas de verano, etc. Asimismo, se asigna los nodos remotos u oficinas centrales (CO) de acuerdo al número de pueblos que componen esta área rural, número de hogares, número de habitantes y área de cobertura expresada en kilómetros cuadrados.

Este artículo está organizado en las siguientes secciones: la Sección 2, se esboza la metodología de este estudio; Sección 3, describe la planificación de la red; la Sección 4, se esboza el diseño de la red FTTH, y en la Sección 5, se presentan las consideraciones finales del trabajo.

## 2. Metodología

La metodología seguida se basa en el estudio crítico del estado del arte en el área de la planificación y diseño de redes FTTH en combinación con redes GPON, al término del cual se expondrá la propuesta que sustenta el presente trabajo. Para ello, en primer lugar, se llevará a cabo un proceso sistemático de revisión de la documentación, así como una clasificación de las distintas propuestas existentes. Posteriormente se hará una valoración específica de las propuestas de [1] y [2] como referencias del trabajo que se va a presentar aquí. La presentación de la planificación y diseño empezará por un análisis de los componentes de una red de acceso FTTH GPON, así como de su arquitectura, considerando los distintos puntos

de vista que plantean los autores. Posteriormente se introducen nuevos elementos y técnicas con el fin de optimizar los servicios ofrecidos por las operadoras. Se tomará en cuenta la planificación de redes, servicios prestados, se considerarán las topologías de redes, el número de usuarios, la distribución de bloques, el punto de referencia para el trazado e instalación de la fibra óptica y la distribución de *splitters* de primer y segundo nivel por bloque.

La tecnología GPON es la referencia en este trabajo porque también ha sido adoptada por múltiples proveedores de servicios, lo cual permite una comparación en la Calidad de Servicios (QoS) en escenarios con múltiples servicios. Además, al ser una arquitectura más compleja que EPON, ayuda a la planificación y diseño de redes ópticas del tipo FTTH, tomando en consideración la zonificación, en primer tiempo, y posteriormente los servicios a prestar. Hay que destacar que los autores antes mencionados ya cuentan con infraestructura tecnológica propia, a nivel empresarial de alto costo, que les permite planificar, implementar y diseñar redes FTTH GPON, en escenarios reales.

La planificación de la red se lleva a cabo considerando aspectos relacionados, con el área geográfica, elementos de la red, servicios a brindar, infraestructura tecnológica, arquitecturas y técnicas. Para el diseño de la red, se toma en cuenta el diseño del nodo de acceso, al considerar la cantidad de puertos, cantidad de tarjetas por puerto, nodos de acceso, tipos de interfaz "uplink", entre otros aspectos.

## 3. Planificación de la red FTTH

Todas las redes, indistintamente de cómo esté configurada su infraestructura como un sistema y considerando una serie de elementos propios de estos entornos, deben garantizar ante y después un correcto funcionamiento, lo que significa que deben seguir brindando el servicio al cliente para la cual fueron diseñadas.

Sin embargo, para poder brindar y mantener esos servicios a nivel de las redes FTTH, es importante contar inicialmente con un plano [3], donde se esquematizan las distribuciones por zonas y servicios que van a ser atendidos por el proveedor de servicios. Una representación de este plano se ilustra en la figura 2.



Figura 2. Distribución de predios y servicios en una red FTTH.

A partir del plano, se tiene una cantidad de predios donde reside cierta cantidad de clientes y una canalización de FTTH para cada propietario. De esta forma, los servicios que se brindan se relacionan con telefonía usando VoIP, Internet de alta velocidad (HSI), IPTV con señales de alta definición (HD) y ancho de banda. Los tipos de servicios y anchos de banda, se detallan en la siguiente tabla 1.

Tabla 1. Tipos de Servicios y Anchos de Banda

Servicio	Ancho de Banda (Subida)	Ancho de Banda (Bajada)
Acceso a Internet (HSI)	1 Mbps	30 Mbps
IPTV (tres canales simultáneos (3 x 8 Mbps))	100 Kbps	24 Mbps
Servicios Telefónicos (2 en total)	200 Kbps	200 Kbps
Total	1.3 Mbps	54.2 Mbps

Cuando hacemos referencia al tipo de servicio y ancho de banda, se debe considerar la simultaneidad, referido al envío y recepción de datos, para cada servicio en horas pico, el cual es del 10% para más de 200 usuarios. También se deben considerar la cantidad de señales de broadcast TV, que en el caso de IPTV es de 60 señales, y cada señal con velocidades promedio de 8 Mbps. En este contexto, se utiliza tecnología GPON para el diseño de la red con disponibilidad de puertos bidireccionales.

En las siguientes secciones se ilustra lo relacionado con la red de fibra óptica y los nodos de acceso.

### 3.1 Red de Fibra Óptica

Para ilustrar, la planeación de la red de fibra óptica, se contempla una red distribuida, subdividida en dos etapas, donde se definen *splitters* o divisores de haz de primer y segundo nivel por áreas de zonificación. Esto se debe a la creciente tasa de crecimiento que existe en tales zonas.

Sin embargo, se define una relación de división única entre todos aquellos *splitters* de primer nivel conjugándolos con los *splitters* de segundo nivel. En efecto, esto da lugar a que el cable de fibra óptica sea instalado mediante canalización por razones por seguridad y que los centros de distribución (*splitters* de primer nivel) sean tomados en cuenta en el recorrido de instalación de la fibra óptica, tal como se indica en el plano, a través de la calle 17. La longitud de la fibra óptica en el proceso de canalización es de 2 km, y contempla desde la central hasta las zonas que son atendidas (punto H en el plano de la figura 1. Cuando hacemos referencia a los centros de distribución, significa que estarán alojados en una caja de empalme, que albergan un total de 6 *splitters* como máximo y que las salidas que contienen estos divisores de haz de primer nivel, permiten llevar a cabo las respectivas conexiones, lo que les permiten ser utilizadas en su totalidad sin dejar salidas de reserva para crecimientos futuros de la red.

Por consiguiente, los *splitters* de segundo nivel, serán ubicados en la propia NAP (Punto de Acceso de Red), para una distribución de los servicios hacia los usuarios, al permitir que cada *splitter*, deje una salida libre para futuros crecimientos de la red. Además, es

recomendable que los cables de acometida no atraviesen las calles, por lo que, deben ser soterrados o enterrados por debajo de la acera, pudiendo así, atender los servicios de un solo predio o manzana. A su vez, cada manzana tiene dimensiones de 100 metros de largo, representado por un cuadrado en el plano y que las calles tienen un ancho de 10 metros.

Como ocurre con otras muchas tecnologías de alta velocidad, es importante determinar la manera cómo se van a conectar los *splitters*, tanto los de primer y segundo nivel. Para este caso en particular, se utiliza la técnica de empalme por fusión, uno a la entrada y otro a la salida del *splitters* de primer nivel. Por esta razón, se utilizan dos conectores en el distribuidor óptico que permite unir la longitud de la fibra óptica con la OLT (Terminación de la Línea Óptica). Lo anterior implica, que debe salir y haber un empalme por fusión de la misma troncal del distribuidor óptico y otra caja de empalme de recepción antes de llegar al *splitter* de primer nivel. Se considera que la pérdida en cada empalme por fusión es de 0,1 dB y en cada conector es de 0,5 dB. En la fibra óptica la atenuación es de 0,4 dB/Km. Entre las OLT (Terminales de Línea Óptica) y las ONT (Terminal de Red Óptica) la pérdida de inserción es de 28,5 dB.

En resumen, podemos observar que hay que considerar una serie de aspectos y características técnicas no solo del medio de comunicación sino también de todos aquellos dispositivos mecánicos que intervienen y participan en el proceso de comunicación.

### 3.2 Nodos de Acceso

Como se ha comentado anteriormente, existe un elemento clave en el diseño de la red de fibra óptica, como son los puntos de acceso a la red (NAP) o nodos de acceso. Para el caso de la red FTTH, cada nodo de acceso estará conformado con sus respectivos bastidores, los cuales permiten un máximo de 12 tarjetas, y cada tarjeta dispondrá de 8 puertos GPON [5].

Muy asociado a cada nodo, se utilizará una interface de enlace de 1GE (igual a 1000 Mbps) o de 10 GE (equivalente a 10000 Mbps). A cada una de estas interfaces de enlace se les puede agregar una "interface de agregación", lo que da lugar, a la formación de grupos de entre 1 a 4 interfaces con velocidades de transmisión que oscilan entre 1GE y los 10 GE, en el mismo nodo.

### 4. Diseño de la red FTTH

Para instruir, cómo sería el diseño de una red FTTH, se toma en cuenta el ancho de banda en este tipo de redes, ya que este aspecto garantiza la calidad y en cierta forma el nivel de satisfacción de los usuarios con respecto a los servicios requeridos.

Por lo anterior, es importante conocer el total del ancho de banda para transmitir cada uno de los servicios ofrecidos y la relación con los *splitters* de primer y segundo nivel, respectivamente. Para ello, nos planteamos el siguiente método:

$$\text{HSI} + \text{IPTV} + \text{VoIP} \times 2 = 30 + 24 + 0.2 \times 2 = 54.2 \text{ Mbps} \quad (1)$$

Se observa, que los datos utilizados para el cálculo del ancho de banda, son seleccionados del ancho de banda de bajada, tabla 1, que se utilizan para ofrecer los diversos servicios.

Para garantizar, que estos 54.2 Mbps, le van a llegar a los usuarios de manera eficiente y continua, se debe establecer la relación de los *splitters* de primer y segundo nivel, equitativamente, al tomar en cuenta el número de canales de comunicación por puerto en cada uno de los *splitters*. Esta relación a nivel de *splitters* se observa en la figura 3.

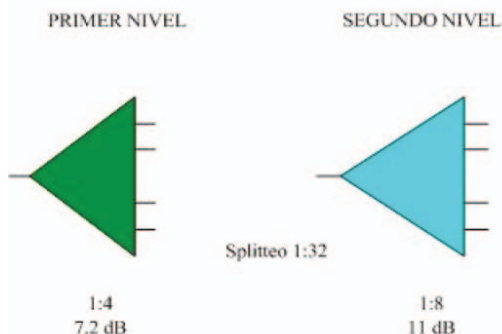


Figura 3. Relación de los splitters (N-1 y N-2) con el ancho de banda.

Se puede observar en la figura 2, que la relación de 1:32 tiene una pérdida de inserción de 7.2 y 11 dB en cada uno de los *splitters* y que se tiene un ancho de banda de 2214.40 Mbps en el puerto GPON de la OLT. Para obtener la velocidad de 2214.40, se procede a utilizar la siguiente técnica:

$$54.2 \times 32 + 60 \times 8 = 2214.4 \text{ Mbps} \quad (2)$$

Se observa en el cálculo anterior, que el ancho de banda disponible es de 2214.40 Mbps, por lo que es menor al ancho de banda promedio de 2500 Mbps, que ofrece un puerto PON, lo que permite brindar los servicios a los respectivos usuarios.

#### 4.1 Ubicación de los *splitters* de segundo nivel

Tal y como se ha descrito hasta el momento en el diseño de la red FTTH, es necesario contemplar el posicionamiento de los *splitters* de segundo nivel dentro del área de zonificación, tal cual, se indica en la figura 1. Para lograr una adecuada distribución de estos *splitters* de segundo nivel, se toma en cuenta el número de clientes que existen por manzana [4] y el nivel de relación del *splitter*, que en este caso es de 1:8, lo que significa que la fibra óptica que proviene de la OLT, puede atender un máximo de 8 clientes, como se observa en la figura 4.



Figura 4. Distribución de *splitters* de segundo nivel.

Como hemos puesto de manifiesto, en la figura 3, por ejemplo, para un predio o bloque conformado por 21 usuarios, se requiere de un total de 3 *splitters*, con un total de 24 salidas (3 *splitters* x 8 salidas = 24 salidas), lo que deja disponibles 3 puertos libres para un futuro crecimiento de esta manzana.

#### 4.2 Ubicación de los centros de distribución y *splitters* de primer nivel

Para la ubicación de los centros de distribución y los *splitters* de primer nivel, se ha tomado en cuenta, el número de usuarios por manzana, como se puede apreciar en la figura 5.

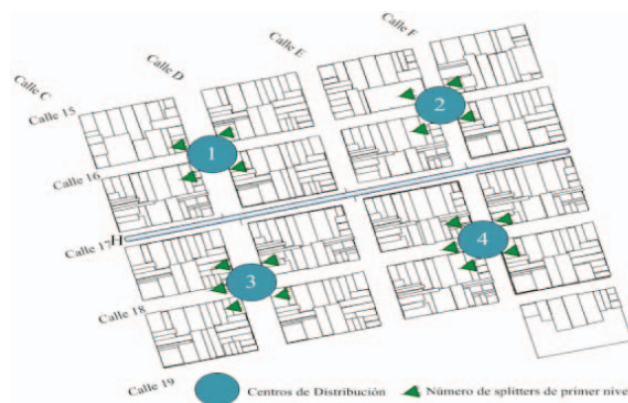


Figura 5. Centros de Distribución y *splitters* de primer nivel.

Tal y como se aprecia en la figura 4, por ejemplo, el centro de distribución 1, conformado por cuatro *splitters*, atenderá la demanda de los servicios en cada uno de los predios, los cuales están conformados por los bloques, compuesto de 21, 27, 31 y 28 clientes, respectivamente. La misma misión en cuanto a funcionamiento y rendimiento tendrán los centros de distribución 2,3 y 4, individualmente.

Por consiguiente, si se considera que los puertos GPON son iguales al número de *splitters* de primer nivel, se tiene un total de 18 puertos GPON, que son requeridos para poder atender la demanda de servicios entre los respectivos usuarios, sectorizados por manzanas y calles, proporcionalmente.

Además, cada bastidor permite alojar un máximo de 12 tarjetas, disponiendo cada tarjeta de 8 puertos GPON, por lo que solo se requiere un nodo de acceso, debido a que: 12 tarjetas x 8 puertos = 96 puertos. Por supuesto que, se requiere de tres tarjetas, la primera y la segunda tarjeta contendrán 8 puertos GPON y la tercera tarjeta 2 puertos GPON.

Con todo lo anterior, se logra obtener un balance entre los servicios que demandan los clientes y una optimización en el canal de comunicación, lo que permite equilibrar el uso de banda ancha requerido para cada uno de los productos ofrecidos.

#### 5. Consideraciones Finales

En este trabajo se plantea como la planificación y el diseño de las redes FTTH a partir de la zonificación y prestación de servicios usando tecnología GPON, permite optimizar el rendimiento de una red de fibra óptica para una mejor prestación de servicios y mejoras en el rendimiento continuo de manera distribuida.

Si bien, como hemos podido observar, un aspecto relevante en la planificación es contar con un buen diseño a nivel de un plano, igual de importante, es el hecho de que a nivel del diseño de la red, debe existir una distribución equitativa a nivel de *splitters* de primer y segundo nivel, así como una correcta colocación de los centros de distribución en las diversas manzanas y calles, ya que son los encargados, en compañía de los *splitters* de primer nivel, de distribuir los diversos servicios que demandan los clientes.

De esta forma, las redes FTTH, surgen como una tecnología prometedora, que acompañada de aspectos técnicos de las redes ópticas pasivas (GPON), permite lograr tener redes de alta velocidad dónde se pueda combinar de forma exitosa, la voz y los datos.

Se ha puesto de manifiesto que el campo de la planificación y diseño de redes FTTH con tecnología GPON es bastante amplio.

Esto hace que se puedan plantear trabajos futuros, que sea interesante explorarlo por medio de casos de estudio. En primer lugar, se podría experimentar con la propuesta de un modelo que permita ser validado mediante un caso de estudio dividido en dos etapas. En esta primera etapa, se consideran las topologías de Árbol, Eye y Eye-Tree, comparativamente, en asociación con las arquitecturas Home-Run y GPON, lo que da lugar a 12 escenarios distintos en los que hay nodos de distribución ubicados en el mismo lugar o no. A partir de este planteamiento en la primera etapa, se han considerado además dos parámetros denominados conducto principal y terminales de red (TRs) conectados a puntos de empalme (PEs), generados a partir de la zonificación de los predios o zonas y de la identificación del total de usuarios y *splitters*, igualmente. Los resultados que se obtienen de esta primera etapa, deben permitir reducir la cantidad de fibra óptica en los procesos de instalación entre las terminales de red y sus respectivos puntos de empalme.

En la segunda etapa, se toman los resultados de la primera etapa y se implementan en un escenario más real, tomando en consideración una serie de criterios definidos con anterioridad. Ello requiere considerar el conjunto de todas las municipalidades con sus respectivos terminales de red (TRs) y costos operativos. Los resultados obtenidos de esta segunda etapa, deben permitir una disminución paulatina en la cantidad de fibra óptica a instalar en cada municipalidad y a su vez el definir el tipo de topología a utilizar va a determinar de manera determinante el aumento o disminución en la cantidad de fibra a comprar.

Otros trabajos a considerar, sería profundizar sobre la topología *Eye-Tree* en comparación con la topología de Árbol, con el fin de ver si la primera topología puede ser planificada desde una perspectiva redundante sin costar más que una topología de árbol en escenarios de mayor cobertura. Estos aspectos quedan para un estudio posterior.

## Referencias

- [1] Mahmoud M., Design and Implementation of a Fiber to the home FTTH Access Network based on GPON. International Journal of Computer Applications, April 2014, vol. 92-n.° 6.
- [2] Jasim D. and Abdul-Rahman N, Design and Implementation of a Practical FTTH Network. International Journal of Computer Applications, June 2013 vol. 72, n.° 12.
- [3] D. Stallworth, Fundamental FTTH Planning and Design: Part 1, www.broadbandproperties.com, vol. Jan./Feb.,pp.84-87, 2011.
- [4] D.Stallworth,“Fundamental FTTH Planning and Desing: Part 2”, www.broadbandproperties.com, vol. Mar./Apr. 2011,pp 114-117.
- [5] J. Segara, V.Sales and J.Prat, “Planning and Designing FTTH Networks: Elements, Tools and Practical Issues”, in Proc. ICTON 2012, Stockholm, Sweden, July, 2012.
- [6] K. Wieland.The FTTx Mini-Guide. White Paper, Ed. Nexans and Telecomm – Magazine, 2007.
- [7] J. Segarra., V. Sales. And J. Prat. Access Services Availability and Traffic Forecast in PON Deployment in Proc. ICTON 2011, Stockholm, Sweden, 2011.
- [8] L. Chinlon. Broadband Optical Access Networks and Fiber – to – the – Home: Systems Technologies and Deployment Strategies. England, John Wiley & Son, Ltd, pages 220 – 228, 2006.
- [9] CommScape Solutions Marketing. GPON – EPON Comparison. October, 2013. White Paper, (Consultado el: 10/04/2014), Disponible en: [http://www.commscope.com/...Comparison\\_WP\\_107285.pdf](http://www.commscope.com/...Comparison_WP_107285.pdf).
- [10] ITU-T G.984.Gigabit – Capable Passive Optical Network (G-PON), Geneva, Switzerland, October, 2010.
- [11] IEEE 802.3 ah y IEEE 802.3 av, (Consultado el: 10/04/2014), Disponible en: <http://www.ieee802.org/3/>
- [12] P. Brereton, B.A. Kitchenham, D. Budgen, M. Turner, M. Khalil. Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. Journal of Systems and Software, 80(4), 571-583, 2007.
- [13] O. Anis, P. Kin, and Ch., Andre. FTTH Network Design Under Power Budget Constraints. IFIP/IEEE Internacional Symposium on Integrated Network Management (IM),2013.
- [14] P., Suman and D., Sanjeev. A review on Gigabit Passive Optical Network (GPON). Internacional Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol. 3, Issue 3, March 2014.