

Análisis técnico-económico para la migración de redes de cobre a redes ópticas pasivas en la zona de prioridad a de la Ciudad de Quito de acuerdo a la Ordenanza Municipal LMU40

Oscar Patricio Cevallos Chamorro
Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército
Sangolquí, Ecuador
oscar_pcevallos@hotmail.com

Resumen- *En el presente documento se realiza un estudio técnico-económico de todos los equipos y elementos necesarios para la implementación y puesta en marcha de una red de fibra óptica pasiva, considerando dos tipos de tecnologías relacionadas, Broadband Passive Optical Network y Gigabit Capable Passive Optical Network.*

Se diseñan las redes y se indica un presupuesto total en cuanto a elementos activos, pasivos y mano de obra para la instalación de la red en planta externa, además de los ingresos que este tipo de enlaces representa para una empresa prestadora de servicios de telecomunicaciones; sin descuidar los costos generados por mantenimiento de red, daños ocasionados en el tendido y recurso humano necesario para la operación de la red.

Finalmente con la información recopilada se realiza una proyección de venta en base a conceptos financieros de sensibilidad, además del cálculo de indicadores fundamentales para la factibilidad y rentabilidad del proyecto.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha evidenciado un creciente avance tecnológico en lo referente a la capacidad incorporada en las redes de backbone de las empresas de telecomunicaciones que prestan este tipo de servicios en el país, haciendo uso de los nuevos algoritmos de transmisión y protocolos a la vanguardia de las exigencias del mundo moderno, a pesar de ello, el usuario final no ha experimentado un verdadero cambio en el desempeño que presenta su enlace. Si bien es cierto la red de acceso por cobre, que es la más difundida hasta el momento, ha experimentado cambios significativos que han permitido aumentar la velocidad de transmisión de datos

llegando hasta unos optimistas 24Mbps en transmisión ADSL, lo que verdaderamente interesa es mejorar estas capacidades a niveles acordes a las necesidades que la tecnología actual requiere y aprovechar los recursos existentes en el país y en el mundo.

Por ello, debido a las limitaciones tecnológicas actuales que presenta la red de acceso al usuario, es necesario analizar posibles soluciones, donde tomando en cuenta las características del medio de transmisión, las soluciones por fibra óptica toman protagonismo debido a su ingente ancho de banda y a la capacidad de extender dichas redes más allá de los estándares actuales.

II. REDES ÓPTICAS PASIVAS DE BANDA ANCHA. BPON

Esta tecnología de las redes PON surgió como una mejora de la tecnología A-PON para integrar y obtener acceso a más servicios como Ethernet, distribución de video, y multiplexación por longitud de onda (WDM) logrando, principalmente, un mayor ancho de banda.

Aparte de ser una mejora de A-PON también basa su arquitectura en dicha tecnología. Broadband-PON se define en varias revisiones al estándar ITU-T 983 de las cuales están desde la G.983.1 que es la original de esta tecnología, hasta la G.983.8. La especificación G.983.1 de B-PON define una arquitectura de forma simétrica, es decir, que la velocidad para la transmisión de datos en el canal de bajada es el mismo para el canal de subida, con velocidades de hasta 155 Mbps.

Esta norma fue revisada un tiempo después para lograr un aumento en las velocidades de transmisión y para permitir arquitecturas asimétricas, conservando la misma velocidad de subida, pero obteniendo una significativa mejora de 622 Mbps en bajada.

En su última revisión, se modificó el estándar para transmisiones de 622 Mbps en arquitectura simétrica. Además, se desarrolló la tecnología para dar soporte al protocolo IP. Sin embargo, las redes BPON suponen costos altos y limitaciones técnicas.

III. REDES ÓPTICAS PASIVAS CON CAPACIDAD GIGABIT. GPON

Las principales fortalezas de este tipo de redes son, su ancho de banda mucho más alto que sus anteriores predecesoras, y una mayor eficiencia para el transporte de servicios basados en el protocolo IP.

Las velocidades manejadas por esta tecnología son mucho más rápidas, ofreciendo hasta 2.488 Gbps y la posibilidad de tener arquitecturas asimétricas. Estas velocidades, dejan prácticamente obsoletos a los 622 Mbps de su tecnología predecesora, proyectando, por ende, una mayor escalabilidad y eficiencia.

Las velocidades más usadas por los proveedores de servicios que utilizan este tipo de tecnología son de 2.488Gbps para el canal de bajada y de 1.244 para el canal de subida. Esto proporciona velocidades muy altas para los abonados ya que si se dan las configuraciones apropiadas las velocidades pueden ser de hasta 100 Mbps a cada usuario.

Esta tecnología no solo ofrece mayores velocidades sino que también da la posibilidad a los proveedores de servicios de continuar brindando sus servicios tradicionales sin necesidad de tener que cambiar los equipos para que sean compatibles con esta tecnología. Esto se da gracias a que GPON usa su propio método de encapsulamiento (GEM o Método de Encapsulamiento GPON), el cual permite el soporte de todo tipo de servicios.

La arquitectura básica de las Redes GPON consta de un OLT (Línea Terminal Óptica) cerca del operador y las ONT (Red Terminal Óptica) cerca de los abonados con FTTH, lo cual supone una típica configuración de red pasiva.

IV. ANÁLISIS TÉCNICO DE LA ORDENANZA LMU 40

Mediante ordenanza municipal 0022, el Ilustre Municipio de Quito establece normas para la utilización del espacio público en referencia a la instalación de redes de servicios a través de la

“Licencia Metropolitana Urbanística de Utilización o Aprovechamiento de Espacio Público para la instalación de Redes de Servicio”, LMU 40.

La ordenanza establece que están obligados a obtener la LMU 40, los Prestadores de Servicios que utilicen o aprovechen el espacio público para la instalación de Redes de Servicio dentro de la circunscripción territorial del Distrito Metropolitano de Quito, a excepción de:

- a) Las entidades que extiendan redes para el Sistema Nacional Interconectado de 138 y 230 KV.
- b) Los organismos u órganos públicos que extiendan redes para los sistemas de semaforización y de video control para la seguridad ciudadana.
- c) Los organismos y órganos competentes del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

En lo referente a los requerimientos técnicos para la instalación de redes de telecomunicaciones en planta externa, se tienen como base los siguientes puntos:

1. Se puede dejar reserva de cables entre postes formando una figura 8 y cosidas o tejidas. No se pueden dejar reservas de cables en los postes.
2. En un poste se puede instalar máximo una caja de dispersión y una fuente de poder. Si en el poste se instalan estos dos equipos, la caja de dispersión se instalará hacia la vía y la fuente de poder hacia la edificación.
3. En aceras mayores a 1,2 m de ancho, la caja de dispersión estará ubicada a 10 cm del herraje destinado para ordenar las redes de telecomunicación, máximo se ubicarán dos cajas de dispersión por poste, una en la parte frontal y la otra en la parte posterior. En aceras menores a 1,2 m de ancho, se ubicará una sola caja de dispersión en la parte frontal y estará ubicada a 10 cm del herraje para ordenamiento de redes de telecomunicación.
4. Los elementos pasivos, excepto las cajas de dispersión, se instalarán a los lados del poste y se ubicarán mínimo a una distancia de 40 cm del poste. Se pueden instalar máximo 3 elementos pasivos por cada lado del poste, exceptuando las cajas de dispersión.

5. En un poste no se pueden instalar mangas, amplificadores y nodos. Cuando los elementos activos se instalen a los lados del poste, se ubicaran mínimo a una distancia de 1 m del poste. Se pueden instalar máximo 1 elemento activo por cada lado del poste.
6. En postes donde existan equipos de transformación, protección y seccionamiento no se pueden instalar elementos activos o pasivos. En caso de requerir la instalación de un equipo de gran volumen en la posterioría, deberá realizarse una inspección previa por parte del personal de la EEQSA para determinar la factibilidad de la instalación.
7. Referente a la identificación, la etiqueta se ubicará pasando un poste, con el rotulado de frente a la vía, sea al costado derecho o izquierdo del poste.
8. Todas las redes de telecomunicación de una misma empresa tienen que estar empaquetadas, formando un solo cableado.
9. La instalación de las redes de telecomunicaciones, donde no existan cruces de vías de las redes, debe realizarse a una altura mínima de 5,5 m desde la acera.
10. La instalación de las redes de telecomunicaciones, donde existan cruces de vías de las redes, debe realizarse a una altura mínima de 6 metros desde la acera.
11. Se debe evitar en lo posible el cruce de avenidas con redes, si no es posible se debe centralizar a un poste mínimo de 11,5 m. de altura. Los vanos máximos para la instalación de redes de telecomunicaciones tienen que ser de 50 m. En caso de tener vanos mayores a 80 m la EEQ instalará un poste intermedio.

En estos 11 puntos se ha resumido la información que se ha considerado más relevante, para la elaboración de este documento, dentro del anexo técnico de 127 páginas presentado conjuntamente con la ordenanza 0022 por parte del grupo de colaboradores del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

A. Evaluación geográfica de la zona de prioridad A de la ciudad de Quito.

La LMU 40, de acuerdo a las exigencias geográficas y a la criticidad de las condiciones del

tendido aéreo en la ciudad de Quito, establece prioridades de acuerdo a una zonificación para la desocupación del espacio público aéreo y reordenamiento de Redes de Servicio en el espacio público aéreo, para este análisis, se considerará la zona de prioridad A.

A continuación se examinarán los límites geográficos que delimitan la zona de prioridad A de la ciudad de Quito:

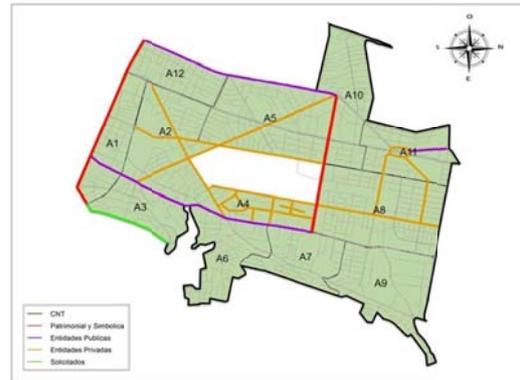


Figura.1. Mapa geográfico de la Zona de Prioridad A del Distrito Metropolitano de Quito

Al sur, la Av. Cristóbal Colón como límite Patrimonial y Simbólico con alta prioridad de soterramiento del tendido aéreo; al norte, desde el oeste la Av. Edmundo Carvajal, Av. El Inca y Av. Rico Coca; al oeste la Av. América, Av. Mariscal Sucre –delimitando el sector de la Granda Centeno y la Av. Brasil hasta la Av. Edmundo Carvajal; finalmente hacia el este, el límite urbano de la ciudad de Quito partiendo desde la Av. González Suarez hasta la Av. De Los Granados al norte.

Dentro de estos límites, existen proyectos puntuales de soterramiento que se fijaron de acuerdo a los proyectos municipales del sector y a la densidad de cableado aéreo existente, por ejemplo, la Av. Naciones Unidas -marcada en rojo en el mapa- tiene una connotación Patrimonial y Simbólica por lo que todo el tendido aéreo está siendo migrado a los pozos de soterramiento, debido a la obra municipal que se lleva a cabo en el sector.

Los trabajos en esta zona empezaron con la instalación de un cerramiento de seguridad y un túnel provisional para la circulación peatonal. En la aceras se ha realizado la excavación de tres zanjas, una para colocar a profundidad el nuevo alcantarillado, otra para el cableado eléctrico y una adicional para las telecomunicaciones. Para canalizar la red eléctrica se han acondicionado

nueve ductos, dos para semaforización e iluminación pública, tres para las redes de alta tensión y cuatro para los cables de media tensión.

En el pozo para las telecomunicaciones se han implementado doce conductos –en tres columnas de cuatro ductos-, dos destinados para semaforización, cuatro para el uso de la CNT y los seis ductos restantes para empresas de telecomunicaciones particulares. Por otros cuatro triductos pasan las redes públicas y privadas de fibra óptica donde cada 30m se colocan cajas de revisión independientes para cada servicio y desde este punto se realizarán las acometidas de acceso a los inmuebles.

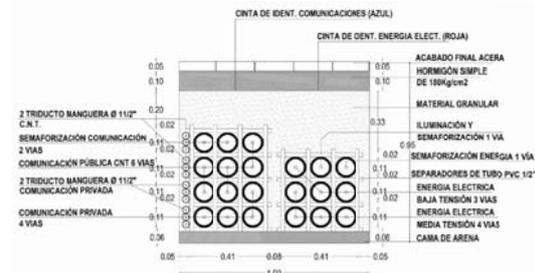


Figura 2. Disposición de ductos en las zanjas destinadas para redes de telecomunicaciones (izquierda).

V. DISEÑO DE UNA RED BROADBAND – PON PARA LA ZONA DE PRIORIDAD A DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

Para el diseño de esta red se tomarán en cuenta los sectores con mayor demanda de servicios dentro de la zona A, y, debido a que la importancia de esta fracción de la ciudad radica principalmente en una alta presencia de empresas y locales comerciales, no se analizará ningún tipo de servicio a nivel masivo o residencial y solamente se atenderá el sector comercial.

Se ha considerado un diseño de planta externa a manera de red metropolitana (azul) de tal forma que sea posible ofrecer rutas redundantes, siempre y cuando se tenga redundancia de equipos en el cliente y de puerto en la OLT. Se ha tomado como referencia el nodo de una empresa de telecomunicaciones que presta este tipo de servicios en la ciudad de Quito, con el objetivo de realizar el cálculo de distancia en el presupuesto de potencia de la señal óptica.

A continuación se especifica la ubicación de los elementos pasivos en la red de Planta Externa dentro de la zona A del Distrito Metropolitano de Quito.

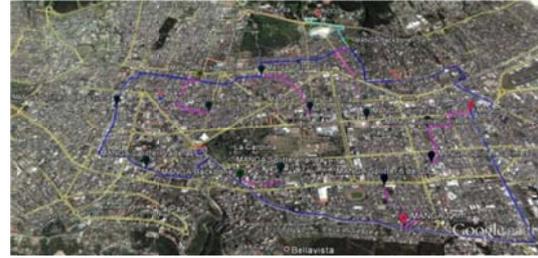


Figura 3. Ubicación de elementos pasivos dentro de la red de FO de Planta Externa

A. Presupuesto de potencia de la señal óptica

A continuación se realiza el cálculo de potencia de la red:

$$A < \alpha_d L + \alpha_s X + \alpha_c Y + \alpha_{spt} S$$

Para el cálculo, se consideran los siguientes valores, de acuerdo a la información detallada en el datasheet del cable:

$$@ 1310 \text{ nm} \rightarrow \alpha_d = 0.36 \text{ dB/km}$$

$$@ 1550 \text{ nm} \rightarrow \alpha_d = 0.22 \text{ dB/km}$$

En lo referente a pérdidas por conectores, se utiliza el valor teórico promedio $\alpha_c = 0.25$ dB/conector, y las pérdidas por fusión de fibra óptica $\alpha_s = 0.1$ dB/fusión.

Tomando en cuenta que: el tendido de acceso al nodo más largo es de 3km, que el tendido de backbone es de 15km en total, y que los tendidos de acceso al cliente tienen como máximo 1km; se ha considerado como distancia de diseño a la más significativa, es decir $L = 15 \text{ km}$.

Dado que los conectores necesarios para habilitar el acceso deben ir en ambos equipos terminales, entonces $Y = 2$. En cuanto a la cantidad de fusiones, es necesario considerar que el carrete de cable de fibra óptica tiene una longitud máxima de 3km y, sabiendo que la distancia máxima a considerar en el diseño es de 15km, entonces $X = 5$; sin embargo, quedan por sumar, 2 fusiones correspondientes a la unión del cable de fibra óptica de planta externa, con el pigtail en ambos ODF terminales.

Al ser un cálculo basado en una red óptica pasiva, se consideran dos niveles de *splitteo*, el primero a 1x8 y el segundo a 1x4; de acuerdo al datasheet del elemento a utilizar la pérdida de inserción por *splitteo* a 1x8 es $\alpha_{spt} = 10.8 \text{ dB}$ y a 1x4 es $\alpha_{spt} = 7.3 \text{ dB}$; de esta forma se tiene que:

$$\lambda = 1310\text{nm}$$

$$A < 0.36(15) + 0.1(7) + 0.25(2) + 10.8 + 7.3$$

$$A < 5.4 + 0.7 + 0.5 + 18.1$$

$$A < 24.7 \text{ dBm}$$

$$\lambda = 1550\text{nm}$$

$$A < 0.22(15) + 0.1(7) + 0.25(2) + 10.8 + 7.3$$

$$A < 3.3 + 0.7 + 0.5 + 18.1$$

$$A < 22.6 \text{ dBm}$$

De acuerdo a las características de los equipos ONT y OLT, se tienen una potencia de salida en la ONT de 0 dBm y una sensibilidad de recepción de -28dBm en la OLT; con lo cual el presupuesto de potencia es de 28dB.

Del cálculo efectuado, la máxima pérdida de potencia es de 24.7dBm, por lo que el diseño es aplicable, con un margen a favor de 3.3 dBm.

B. Revisión del diseño del sistema

De todas las mediciones y cálculos realizados, se tiene una red de fibra óptica para aplicaciones de voz y datos con una capacidad de 622Mbps en downstream y 155Mbps en upstream.

Los equipos activos y pasivos seleccionados cumplen con los parámetros establecidos en las normas regulatorias, de tal forma que se garantice la operación de la red. El tendido de planta externa está diseñado bajo la recomendación ITU-T G.983.1 y cuenta con dos niveles de splitteo, de tal forma que se atiendan 32 clientes por cada splitter principal, mismos que se encuentran ubicados de forma estratégica dentro de la zona de prioridad A del Distrito Metropolitano de Quito, sumando un total de 10, lo cual indica una capacidad máxima inicial de 320 clientes.

El tendido de red metropolitana, con cable de fibra óptica monomodo ADSS G.652D, cuenta con 36 hilos, de los cuales se ocupan 10 hilos –uno por cada splitter- teniendo 26 hilos a favor para crecimiento de la red, que, tomando en cuenta que cada hilo atiende 32 clientes, se tiene un crecimiento total de 832 clientes; sin embargo, es necesario tomar en cuenta que al ingresar un nuevo splitter a la red de planta externa, también es necesario incrementar una tarjeta PON en el equipo activo (OLT) para habilitar el servicio.

De acuerdo a los cálculos realizados la distancia máxima para el enlace OLT-ONT es de 15Km, con un margen a favor de 3.3dBm. El tendido de planta externa está diseñado para atender el sector comercial de la zona A del Distrito Metropolitano de Quito.

VI. DISEÑO DE UNA RED GIGABIT CAPABLE – PON PARA LA ZONA DE PRIORIDAD A DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.

En lo referente a los elementos pasivos y, la ubicación de los mismos dentro de la zona de prioridad A del Distrito Metropolitano de Quito, se considera la misma distribución realizada para el diseño BPON, ya que, al tratarse de redes pasivas, el tendido de planta externa guarda la misma relación de componentes.

Acorde a lo indicado en el estándar ITU-T G.984 correspondiente a la tecnología GPON, el ancho de banda soportado por la red será de hasta 10Gb/s, lo cual difiere de la capacidad soportada por la red BPON; y además, bajo esta tecnología se habilitarán 64 circuitos por splitter.

A. Presupuesto de potencia de la señal óptica

Basado en el cálculo realizado en el apartado anterior, tomando en cuenta que las pérdidas por inserción consideradas en el diseño BPON de planta externa, son iguales en cuanto a distancia, conectorización, y fusiones; se utilizará el valor ya obtenido, a excepción de la atenuación por splitteo.

Se considerarán dos niveles de *splitteo*, ambos a 1x8, de tal forma que se explote la máxima capacidad de la tarjeta GPON; de acuerdo al datasheet del splitter a utilizar, la pérdida de inserción por *splitteo* a 1x8 es $\alpha_{spt} = 10.8 \text{ dB}$; entonces se tiene que:

$$\lambda = 1310\text{nm}$$

$$A < 0.36(15) + 0.1(7) + 0.25(2) + (2)10.8$$

$$A < 5.4 + 0.7 + 0.5 + 21.6$$

$$A < 28.2 \text{ dBm}$$

$$\lambda = 1550\text{nm}$$

$$A < 0.22(15) + 0.1(7) + 0.25(2) + (2)10.8$$

$$A < 3.3 + 0.7 + 0.5 + 21.6$$

$$A < 26.1 \text{ dBm}$$

De acuerdo a la información proporcionada en el datasheet del fabricante de los equipos activos, el presupuesto de potencia es de 28dB. Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el cálculo, se puede concluir que, para que el enlace OLT-ONT se dé bajo las condiciones adecuadas, se deberá realizar la transmisión en una longitud de onda igual a 1550nm, ya que, para 1310nm, se tiene una

| Costo total de implementación de la red de Planta Externa | | | |
|---|-----------|--------------|---------------------|
| DESCRIPCIÓN | V/ U | # | V/T |
| Relevamiento para tendido de cables de F.O. Aéreos | \$ 114,22 | 1 | \$ 114,22 |
| Tendido de Cable Aéreo FO 36 hilos | \$ 0,34 | 25000 | \$ 8.500,00 |
| Tendido de Cable Aéreo FO 6 hilos | \$ 0,34 | 10000 | \$ 3.400,00 |
| Instalación de herraje tipo A de retención para cable ADSS | \$ 1,10 | 200 | \$ 220,00 |
| Instalación de herraje tipo B | \$ 1,10 | 400 | \$ 440,00 |
| Instalación de juego preformado con accesorios para sujeción al poste | \$ 8,80 | 200 | \$ 1.760,00 |
| Instalación Manga | \$ 45,69 | 15 | \$ 685,35 |
| Montaje de ODF | \$ 10,00 | 2 | \$ 20,00 |
| Fusión de hilo de fibra (Valor por hilo) | \$ 14,50 | 522 | \$ 7.569,00 |
| | | TOTAL | \$ 22.708,57 |

Tabla.1. Costo total de implementación de la red de Planta Externa

pérdida máxima total que excede el umbral para estos equipos. Tomando en cuenta este resultado, es necesario realizar el cálculo de la distancia máxima que se puede alcanzar, tomando en cuenta el presupuesto de potencia indicado por el fabricante:

$$28 \text{ dB} < 0.36(X) + 0.1(7) + 0.25(2) + (2)10.8$$

$$\frac{28 - 0.1(7) - 0.25(2) - (2)10.8}{0.36} > X$$

$$X < \frac{28 - 0.7 - 0.5 - 21.6}{0.36}$$

$$X < 14.4 \text{ Km}$$

Es decir que, a distancias inferiores a 14.4Km el diseño GPON a una longitud de onda de 1310nm es viable.

B. Revisión del diseño del sistema

La red considerada ha sido diseñada bajo los estándares especificados en la recomendación ITU-T G.984 y cuenta con un ancho de banda disponible de 2.5 Gbps/1.25 Gbps limitados a una distancia de 14.4Km para 1310nm y a 15Km para 1550nm, en tendidos de cable de fibra óptica monomodo ADSS G.652D.

La red GPON de planta externa cuenta con dos niveles de splitteo 1x8, es decir, con capacidad para soportar 64 clientes por puerto de la OLT. Se utiliza la misma distribución de elementos pasivos considerada en la red BPON,

con 10 splitters, dando una capacidad máxima inicial de 640 clientes.

Por último, tomando en cuenta que el tendido principal de cable de fibra óptica cuenta con 36 hilos, con 10 utilizados en la puesta en marcha inicial, y considerando que cada hilo lleva la comunicación de 64 clientes; la proyección de escalabilidad de la red indica un crecimiento total de 1664 enlaces adicionales.

VII. ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA MIGRACIÓN HACIA REDES BPON

Con un total de **\$191.148,06** se ha considerado todo lo necesario para implementar la red de planta externa, además del equipo final en el cliente. Para esta última compra se adquieren 320 ONT BPON de tal forma que aunque la red, inicialmente, no de servicios a la totalidad de su capacidad, los equipos finales ya se encuentren en bodega listos para ser instalados y evitar así retrasar la instalación por temas de stock.

Adicional a lo expuesto, es necesario considerar los costos que se generan debido a la mano de obra para la instalación de la red, estos han sido tomados de la tabla de precios que utiliza una empresa contratista de la ciudad de Quito, cuyo trabajo se centra, al igual que el objetivo de este proyecto, en el sector comercial y empresarial.

Se ha calculado un costo total para la implementación de la red diseñada, en base a la ubicación de los elementos pasivos dentro de la red de FO de Planta Externa, en la tabla 1.

Luego de obtener estos dos totales importantes, se tiene un referencial de inversión

inicial total, que luego será utilizado para el cálculo financiero.

| BPON INVERSION TOTAL | ELEMENTOS | INSTALACION RED | TOTAL |
|----------------------------|---------------|--------------------|---------------------|
| | \$ 191.148,06 | \$ 22.708,57 | \$213.856,63 |

Tabla.2. Inversión inicial total BPON

Todo lo considerado hasta este punto, hace referencia a la red de backbone que soportará el servicio para los clientes, a excepción de las ONT adquiridas con anticipación; por lo que se hace necesario tomar también en cuenta, el costo que representa la instalación del servicio para cada cliente, que acorde a lo expuesto anteriormente, es de \$400,40. Este costo no será tomado en cuenta para el análisis financiero, ya que será cubierto por el cliente en su totalidad.

Finalmente, para abarcar todo lo referente a salida de capital, se debe considerar que para administrar la red y mantener la operatividad íntegra de la misma, es necesario tomar en cuenta el recurso humano y por ende, los costos de mantenimiento de la red. Inicialmente se contará con un técnico y un ingeniero cuya principal responsabilidad es velar por la estabilidad de la red y el correcto funcionamiento del servicio en el cliente. A partir del tercer año de operación de la red y de acuerdo al crecimiento de la propuesta, se contratará un técnico y un ingeniero más. Los sueldos referenciales a pagar por servicios profesionales en nómina se detallarán en el flujo neto del análisis financiero.

El mantenimiento consiste en una intervención de 2 días cada tres meses. Esta actividad está relacionada con reparaciones preventivas, no se consideran los costos que se generen por reposición de elementos robados o por daños sobre la infraestructura de la red, sin embargo, si se incluye el costo por reparación y fusión de hasta 6 hilos de fibra rotos. En el análisis de flujo neto se considerará la intervención simultánea de 4 técnicos, con la finalidad de abarcar toda la red.

El detalle de los costos se podrá observar en las tablas de flujo neto detalladas más adelante.

A. Proyección financiera en el mejor escenario

Como primer punto se ha considerado un escenario en el que la red BPON diseñada alcanza el límite máximo de capacidad de operación, es así que, el crecimiento de enlaces soportados

dentro de la red alcanza a partir del segundo año de operación un número superior a la capacidad individual de la red BPON (320 enlaces) y desde el cuarto año opera al 100% de su capacidad (640 enlace), es decir, cada cliente contrataría un enlace de datos y uno de internet, independientemente de la capacidad contratada. Cabe señalar en este punto que, la proyección se realizó a 5 años debido a que con la constante evolución tecnológica, seguramente en 5 años las alternativas de prestación de servicios de este tipo, hayan sido mejoradas y se deba renovar la tecnología de la red.

Utilizando los datos obtenidos en el análisis anterior, se elabora un flujo de caja neto con la finalidad de calcular variables financieras globales de factibilidad del proyecto. El flujo de caja se detalla en la tabla 3.16. Como se puede observar, adicional a las variables ya detalladas, se han agregado tres consideraciones adicionales:

- a) En los ingresos, un valor de recuperación cuya inherencia se relaciona con el valor que se puede rescatar de la inversión inicial, en el caso de que se decida renovar la tecnología y por ende reemplazar los equipos activos, pero manteniendo toda la red pasiva de planta externa.
- b) En los egresos, un costo de daños y desperfectos, esto con la finalidad de fijar un aproximado del costo generado por el reemplazo de equipos en mal estado o corte del tendido de FO y reemplazo de tramos del mismo. En este valor se ha considerado el mismo porcentaje de depreciación utilizado en la proyección.
- c) Finalmente, y también en los egresos, un costo de desinstalación, ligado directamente con los costos que se generan al desinstalar todos los equipos a los que se hace referencia en el primer punto.

Luego de contar con todos estos parámetros, se procede con el cálculo de las variables financieras: valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR). Estos indicadores miden la factibilidad del proyecto y su rentabilidad durante cierto período, en este caso, 5 años.

Para el cálculo de los indicadores es necesario fijar una tasa de descuento que, de acuerdo al movimiento comercial del mercado nacional, se fija entre el 8% y 11%, para este caso se utilizará una TD=9%.

| | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 |
|-----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| INGRESOS | | | | | |
| Servicios | \$ 67.320,00 | \$87.892,20 | \$132.609,72 | \$134.954,42 | \$124.158,06 |
| Recuperación | | | | | \$ 50.000,00 |
| TOTAL INGRESOS | \$ 67.320,00 | \$87.892,20 | \$132.609,72 | \$134.954,42 | \$174.158,06 |
| EGRESOS | | | | | |
| Mantenimiento de red | \$ 2.880,00 | \$ 2.880,00 | \$ 2.880,00 | \$ 2.880,00 | \$ 2.880,00 |
| Sueldo Técnico 1 | \$ 700,00 | \$ 800,00 | \$ 1.000,00 | \$ 1.400,00 | \$ 1.600,00 |
| Sueldo Técnico 2 | | | \$ 800,00 | \$ 1.100,00 | \$ 1.300,00 |
| Sueldo Ingeniero 1 | \$ 1.000,00 | \$ 1.100,00 | \$ 1.400,00 | \$ 2.000,00 | \$ 2.200,00 |
| Sueldo Ingeniero 2 | | | \$ 1.200,00 | \$ 1.700,00 | \$ 1.900,00 |
| Daños y desperfectos | \$ 16.400,00 | \$15.088,00 | \$ 13.880,96 | \$ 12.770,48 | \$ 11.748,84 |
| Desinstalación | | | | | \$ 5.000,00 |
| TOTAL EGRESOS | \$ 20.980,00 | \$19.868,00 | \$ 21.160,96 | \$ 21.850,48 | \$ 26.628,84 |
| FLUJO NETO | \$ 46.340,00 | \$68.024,20 | \$111.448,76 | \$113.103,93 | \$147.529,22 |

Tabla. 3. Flujo de caja neto BPON (mejor escenario).

| | | | |
|------------------------|---------------|-----------------|----------------------|
| BPON | ELEMENTOS | INSTALACION RED | TOTAL |
| INVERSION TOTAL | \$ 191.148,06 | \$ 22.708,57 | \$ 213.856,63 |

Tabla.4.Inversión total Red BPON

| FLUJO NETO | | | | |
|-------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 |
| \$ 46.340,00 | \$ 68.024,20 | \$ 111.448,76 | \$ 113.103,93 | \$ 147.529,22 |

Tabla.5.Flujo neto total Red BPON.

| | |
|-----------------------|---------------|
| TASA DESCUENTO | 9% |
| VAN | \$ 361.836,81 |
| TIR | 28% |

Tabla.6.TIR y VAN en el mejor escenario BPON.

Estos resultados sugieren una clara rentabilidad del proyecto bajo estas condiciones. Al haber obtenido una TIR superior a la tasa de descuento planteada y un VAN de \$361.836,81, el proyecto puede ser realizado.

B. Proyección financiera en el peor escenario

Bajo las mismas premisas del análisis anterior, se ha planteado como el peor escenario, el obtenido cuando la red alcanza un máximo de

320 enlaces, es decir, cada cliente contrató solamente uno de los dos servicios, empezando con menos de la mitad de la capacidad individual de la red en el primer año y, llegando a 320 enlaces en el cuarto año de operación de la red. Al igual que en el caso anterior, el cálculo de sensibilidad se realiza a 5 años.

Manteniendo el proceso indicado en el apartado anterior, se obtienen los siguientes valores en los indicadores financieros: TASA DESCUENTO 9%, VAN \$141.436,65, TIR -4%.

Como se puede observar, el cálculo de la TIR refleja un valor negativo, lo que obviamente impide la realización del proyecto bajo estas circunstancias. Este resultado está ligado directamente con la cantidad de enlaces a los que se dan servicio con la red; debido a que recién en el cuarto año de operación, a un año de un posible cambio de tecnología, la red alcanza la máxima capacidad de operación individual, es decir 320 servicios se atienden con una red que puede soportar el doble de dicha capacidad. Con estos resultados, una red BPON representa una buena inversión, siempre y cuando se explote la máxima capacidad de operación, sin embargo, es necesario tomar en cuenta que para el valor de inversión inicial se consideró la compra de todas las ONT es decir, 320 equipos, sin embargo, como se observa en la tabla 3.20, el peor escenario inició con 152 enlaces, lo cual sugiere que de comprarse solamente las ONT necesarias para iniciar la operación, el valor de la inversión inicial se reduce en aproximadamente \$ 48.000,00, lo cual dispara el ingreso en el primer año y por ende el valor de los indicadores, haciendo factible al proyecto.

VIII. ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA MIGRACIÓN HACIA REDES GPON

Basado en los mismos procedimientos aplicados para los cálculos de la red BPON, para la GPON se parte de un presupuesto total para la implementación de la red, tomando en cuenta que la red pasiva a utilizarse es exactamente igual en ambos casos. La diferencia radica en el equipamiento activo, cuyos costos son claramente más elevados.

En un total de \$ **454.952,06** se consideran todos los equipos y elementos necesarios para la puesta en marcha de la red. Al igual que en las consideraciones de la red BPON, se han adquirido los equipos de cliente en su totalidad, de forma que se instalen paulatinamente confirme la demanda lo exija.

Considerando que para la instalación de la red GPON se utilizará la misma mano de obra, entonces, los costos de instalación de la red son los mismos \$ 22.708,57. Además, en lo referente al recurso humano para soportar la operación de la red, se continuará con la misma disposición.

Dado que para el cliente final el tipo de tecnología que se utilice en fibra óptica para proveerle el servicio es irrelevante, los precios que se cobrarán por los enlaces son los mismos que se detallaron para la red BPON. Es necesario subrayar que estos valores difieren además, del tipo de contrato y de la cantidad de enlaces que el cliente haya adquirido, por lo que los precios mostrados son referenciales.

Con los valores de operación e inversión señalados, se procede con el análisis financiero de la propuesta, considerando el mejor y peor escenario.

A. Proyección financiera en el mejor escenario

Para este análisis es necesario recordar que para una red GPON la cantidad de enlaces soportados, a la máxima capacidad de la red es de 1280, el doble de la capacidad considerada para la red BPON. Es así, que para el mejor escenario se ha estimado que la red llega a su tope máximo de capacidad a partir del cuarto año de operación, iniciando con una concentración de servicios de la mitad del total.

A primera vista se puede observar como el panorama cambia con respecto a lo obtenido en el caso de BPON; los ingresos en el primer año de la red GPON superan por casi el 150% a los proyectados en el período similar en la red BPON, y dado que la capacidad de la red es mucho mayor, se alcanza un total de ingreso bruto de \$ 1.178.434,03 en 5 años de operación. A continuación se procede con el cálculo de los indicadores financieros a fin de confirmar lo que hasta el momento se ha podido observar.

Partiendo del flujo neto indicado a continuación, se utiliza el mismo proceso ya indicado para obtener la TIR y VAN del proyecto.

Como se esperaba, los indicadores financieros confirman la rentabilidad del proyecto con un TIR=31%, 22 puntos más alto que la tasa de descuento. Esto refleja, porque las empresas prefieren las soluciones bajo este tipo de tecnología, en términos comerciales.

Con estos resultados, es necesario considerar un ambiente de cálculo menos optimista para evaluar el verdadero impacto de esta tecnología como un negocio rentable.

| | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 |
|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| INGRESOS | | | | | |
| Servicios | \$173.940,00 | \$223.905,00 | \$253.348,68 | \$ 272.221,54 | \$ 250.443,81 |
| Recuperación | | | | | \$ 50.000,00 |
| TOTAL INGRESOS | \$173.940,00 | \$223.905,00 | \$253.348,68 | \$ 272.221,54 | \$ 300.443,81 |
| EGRESOS | | | | | |
| Mantenimiento de red | \$ 2.880,00 | \$ 2.880,00 | \$ 2.880,00 | \$ 2.880,00 | \$ 2.880,00 |
| Sueldo Técnico 1 | \$ 700,00 | \$ 800,00 | \$ 1.000,00 | \$ 1.400,00 | \$ 1.600,00 |
| Sueldo Técnico 2 | | | \$ 800,00 | \$ 1.100,00 | \$ 1.300,00 |
| Sueldo Ingeniero 1 | \$ 1.000,00 | \$ 1.100,00 | \$ 1.400,00 | \$ 2.000,00 | \$ 2.200,00 |
| Sueldo Ingeniero 2 | | | \$ 1.200,00 | \$ 1.700,00 | \$ 1.900,00 |
| Daños y desperfectos | \$ 24.500,00 | \$ 22.540,00 | \$ 20.736,80 | \$ 19.077,86 | \$ 17.551,63 |
| Desinstalación | | | | | \$ 5.000,00 |
| TOTAL EGRESOS | \$ 29.080,00 | \$ 27.320,00 | \$ 28.016,80 | \$ 28.157,86 | \$ 32.431,63 |
| FLUJO NETO | \$144.860,00 | \$196.585,00 | \$225.331,88 | \$244.063,68 | \$ 268.012,19 |

Tabla.7.Flujo de caja neto GPON (mejor escenario).

B. Proyección financiera en el peor escenario

En el peor escenario, se asumirá que la red llega como máximo a la mitad de su capacidad total, es decir, 640 enlaces; se podría presumir que el escenario es aún optimista, dada la comparación con la red BPON, sin embargo, una mayor capacidad permite una mayor oferta de servicios y, tomando en cuenta que lo óptimo que se debería conseguir es 1280 enlaces, tomar como referencia 640 servicios, es un número comercialmente desalentador y por tanto, un criterio de evaluación aceptable.

Con estos datos, se obtuvo el flujo neto. Aquí, se han considerado también los costos que se generan debido a daños y reemplazo de equipos en la red, además de recuperación y desinstalación en el caso de que se considere el upgrade de tecnología y por ende, reemplazo de equipamiento activo.

Como se puede observar, existe una clara superioridad en cuanto al flujo neto obtenido en el peor escenario BPON, esto dado que la capacidad de la red GPON es mucho más alta, convirtiéndola en una buena opción comercial, como lo muestran los indicadores financieros calculados a continuación: TASA DESCUENTO 9%, VAN \$484.975,39, TIR 10%.

Como lo indica la TIR, pese a que el porcentaje obtenido es apenas mayor a la tasa de

descuento, sugiere que el proyecto es factible aunque las proporciones de ganancia no tengan comparación con las obtenidas en el mejor escenario. Al contrario de lo que reflejan los indicadores en el caso BPON, el proyecto de implementación de una red GPON es comercialmente más viable ya que aunque se dimensionen las ganancias en el peor escenario, el negocio sigue siendo aceptable.

Adicionalmente a los números expuestos, GPON representa una alternativa más robusta y estable en comparación con BPON. De la experiencia adquirida en el ámbito laboral, GPON es una red con menos problemas de estabilidad y cuyo desempeño en altas capacidades es mucho mejor que con la ya explotada red BPON.

Actualmente, las empresas que prestaban este último tipo de servicios, están de a poco migrando sus enlaces a redes GPON ya que como se ha podido confirmar en este estudio, la red pasiva es perfectamente útil para ambas tecnologías.

Finalmente, los análisis especificados en este documento son un referente ya que para ambos casos los cálculos son realizados a criterio personal con información recopilada de una empresa prestadora de servicios en la ciudad de Quito, sin embargo, si los datos de entrada se varían, es posible reflejar la realidad de otro tipo

de proyecto y convertir en factible lo que para este caso no lo fue; para ejemplificar la afirmación, se podría considerar que el recurso humano es menor, o que los equipos activos de cliente se compran progresivamente, incluso variar los precios de venta del servicio o disminuir el porcentaje de depreciación, todas estas modificaciones repercutirán directamente en los ingresos y podrán reflejar realidades comerciales distintas.

IX. CONCLUSIONES

La evolución que hace algunos años prometía la tecnología xDSL, hoy en día se ha visto truncada debido a la aparición y posicionamiento de las tecnologías xPON; las limitaciones en la relación entre ancho de banda y distancia han impedido el crecimiento de las redes de cobre en la ciudad de Quito, sobre todo en el sector comercial, sin embargo, en lo referente a la prestación masiva de servicios, la oferta se mantiene en tanto el despliegue de red aumente y así los costos disminuyan.

La creciente demanda de servicios de telecomunicaciones en el Ecuador ha alcanzado su punto más alto en los últimos años, sin embargo, esta no puede ser cubierta en su totalidad debido a la deficiencia de recursos tecnológicos y a la truncada escalabilidad de las redes de telefonía fija, que han alcanzado sus niveles máximos de operación en cuanto a despliegue de red, haciéndose necesaria la implementación de nuevas alternativas.

Las redes ópticas pasivas representan una gran ventaja de implementación con respecto a las redes punto a punto debido a que los recursos son aprovechados de forma óptima, utilizando un solo puerto en el equipo activo para dar servicio hasta a 128 clientes y por ende, un solo hilo de fibra óptica para dicho volumen de enlaces; esto representa un ahorro bastante significativo, desde el punto de vista del proveedor.

La aplicación de la ordenanza LMU40 en el Distrito Metropolitano, ha mejorado considerablemente la distribución del tendido de cables en la ciudad; actualmente se cuenta con etiquetas que claramente identifican al propietario del cable, facilitando el reporte en caso de problemas evitando así la afectación masiva de servicios, además de mejorar el ornamento de la ciudad.

A diferencia de las redes BPON, en las redes GPON, se mejora notablemente el desempeño de la red respecto de su capacidad de transmisión y escalabilidad; con capacidades en el orden de los Gbps y soporte de hasta 128 enlaces por puerto PON, esta tecnología es ideal para las aplicaciones con una alta demanda de recursos en cuanto a ancho de banda; en el diseño realizado, se puede ver claramente la mejora en cuanto a proyección de servicios, aumentando en un 100% la cantidad de enlaces soportados con respecto a la red BPON.

A pesar de sus ventajas operativas, un daño en planta externa en una red óptica pasiva involucra la afectación masiva de servicios, debido a la cantidad de enlaces que se pueden transportar por un cable de 6 hilos de fibra óptica; este inconveniente es una de las principales debilidades de la tecnología.

X. RECOMENDACIONES

En el diseño de una red óptica pasiva es recomendable utilizar un bajo nivel de splitteo, esto debido a que a mayor nivel de splitteo, mayor pérdida por inserción y, como se pudo observar en los cálculos del diseño, este es el valor más representativo y por ende, más limitante a la hora de la implementación de este tipo de tecnología.

Tomando en cuenta que el análisis de sensibilidad se realizó a 5 años, y que los resultados obtenidos para el caso de la red GPON son bastante aceptables, es recomendable considerar que la proyección se prolongue a un período más largo, dada la rentabilidad que el negocio promete futuro y la escalabilidad de la red diseñada.

Para evitar el repunte negativo de la TIR en el caso de la red BPON, es recomendable disminuir los egresos, de tal forma que para la operación de la red se disminuya el recurso humano, y además se adquieran solamente los equipos activos de clientes necesarios para iniciar con la operación. Esto generará un aumento significativo en el flujo neto anual y por ende dará factibilidad al proyecto.

Si el capital para inversión inicial es mayor al planteado en este documento, en el caso de la red GPON, se recomienda utilizar un cable de fibra óptica de mayor capacidad en la red metropolitana, para de esta forma aumentar la

capacidad de la red con mangas de acceso y niveles de splitteo adicionales; esto tomando en cuenta que, como lo indican los cálculos realizado, una pequeña inversión para aumentar el número de enlaces dentro de la red, puede significar un incremento bastante considerable en la rentabilidad del negocio.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Herrera, Enrique, *Tecnologías y redes de transmisión de datos* - Editorial LIMUSA 2003.

[2] Oliviero-Woodward, *The complete guide to Copper and fiber-optic networking*, 4th Edition.

[3] Govind, P. Agrawal, *Fiber-Optic Communication Systems*, John Wiley & Sons.

[4] Chomycz Bob, *Fiber optic installer's field manual* - McGraw-Hill Professional, 2000.

[5] K. Thyagarajan, Ajoy K. Ghatak, *Fiber Optic Essentials* - Wiley-IEEE, 2007.

[6] Barry J. Elliott, Mike Gilmore, *Fiber Optic Cabling* - Newnes, 2002.

[7] Vásquez Venegas José Luis, "Estudio de las redes ópticas pasivas de banda ancha (bpon) y sus posibles aplicaciones en el país", Escuela Politécnica Nacional.

[8] Logroño Gómez, Jorge Israel, "Integración de las redes ópticas pasivas ethernet (EPON/GPON) con la tecnología WIMAX", Escuela Politécnica Nacional, Ing. María Soledad Jiménez, MSc.

[9] FURUKAWA FTTx,
http://www.furukawa.com.br/pls/portal/docs/PAGE/PORTALESP/DRTECH/WEEKLYNEWS/WN_110308_ES.PDF.

[10] UIT-T Recomendaciones de la serie G,
<http://www.itu.int/rec/T-REC-G/en>.

[11] ALLPTIC,
<http://www.alloptic.com/products/ftp.php>

[12] TELLABS,
<http://www.tellabs.com/products/library.cfm?find=1600>.

[13] G. Kramer, B. Mukherjee y A. Mailsos, *Ethernet Passive Optical Network*, 2003.
http://networks.cs.ucdavis.edu/~mukherje/links/gk_wiley_bc.pdf.