

ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UNA MIGRACIÓN DE REDES HFC A REDES G-PON

Kristell Aguilar¹, José Narváez², MSc. César Yépez³
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

kaguilar@fiee.espol.edu.ec, janarvae@espol.edu.ec, cyepez@espol.edu.ec

Resumen

El presente proyecto analiza la migración de una red HFC a una red G-PON utilizando como zona de estudio el sector de Urdesa Norte de la ciudad de Guayaquil, la cual es una zona altamente residencial. El estudio tiene un enfoque tanto técnico, económico y regulatorio con lo cual se busca evaluar la rentabilidad, ventajas y desventajas de la migración, analizando el periodo de retorno de inversión. El proyecto ha sido dividido de tal forma que se muestre inicialmente las razones y objetivos para considerar la migración, posteriormente se enfoca en el análisis de los aspectos técnicos y económicos de cada una de las tecnologías para finalmente realizar la comparación entre ambas. Adicionalmente se hace uso de indicadores como el valor actual neto y la tasa interna de retorno para comprobar la rentabilidad de la migración y potencializar los beneficios a los usuarios y a la empresa proveedora del servicio.

Palabras Claves: HFC, G-PON, migración de redes, rentabilidad.

Abstract

This project analyzes the migration from an HFC network to a G-PON network using Urdesa Norte, part of the Guayaquil city, as a geographical area of study. This area is highly residential. The study, which has a technical, economic and regulatory approach, seeks to assess profitability, advantages and disadvantages of migration path, analyzing the payback period. The project has been divided so that the reasons and objectives for considering migration are initially displayed, then focuses on the analysis of the technical and economic aspects of each of the technologies criteria, to finally make the comparison between the two. In addition, and using indicators such as net present value and internal rate of return, profitability of migration is checked, in order to potentiate the benefits to users and the company providing the service.

Key Words: HFC, G-PON, migration, profitability.

1. Introducción

Varios factores han influido para este aceleramiento, uno de los principales es la demanda de grandes velocidades de transmisión de datos para satisfacer los nuevos servicios multimedia de alta resolución, los cuales son transmitidos por internet.

Este proyecto se basa en esa necesidad, y analiza la viabilidad técnica, económica y regulatoria de implementar una red de fibra óptica de tipo G-PON reemplazando una red HFC funcional en un sector de la ciudad de Guayaquil.

Como resultado de la migración, además de mejorar la calidad del servicio a los usuarios, la empresa que lo otorga se verá beneficiada con mayores ganancias debido a cobros por nuevos paquetes de servicios y mayor capacidad de captación a nuevos clientes residenciales y corporativos.

2. Estructura y Topología de la Red HFC

Ésta red se compone por una parte de fibra óptica y otra parte que usa cable coaxial, la conforman 4 partes principales que son la cabecera, Red troncal, Red de distribución y la red interna del usuario.

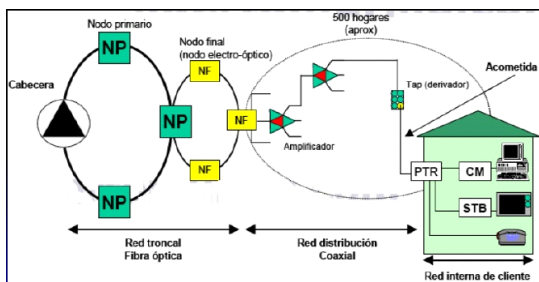


Figura 1. Topología de red HFC

- **Cabecera**

Es donde se establecen, procesan y multiplexan las distintas señales recibidas o contenidos que serán luego difundidas a través de la red.

- **Red Troncal**

La red troncal es aquella que distribuye la señal desde la cabecera hasta las zonas donde se encuentran los nodos finales. Esta red puede ser de tipo estrella o tipo anillo.

- **Red de Distribución**

La red de distribución es aquella que reparte la señal que lleva la información de varios usuarios desde el nodo óptico hasta el tap más cercano al abonado.

- **Red de Acometida y Equipos Terminales**

Es aquella que conecta la red de distribución hasta la red interna del cliente. Entre los equipos terminales que el abonado necesita se pueden encontrar

decodificadores de televisión, cable módems y cable coaxial RG6 o RG11.

3. Estructura de una red G-PON

Las redes G-PON son redes ópticas pasivas basadas en fibra de vidrio que no requieren regeneradores de potencia para restaurar la señal hasta el abonado

Se estructura con tres secciones, en las cuales deben interactuar directamente el proveedor del servicio, el abonado y la red física metropolitana desplegada.

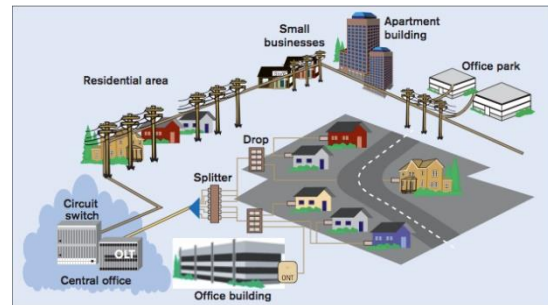


Figura 2. Topología de red G-PON

3.1 OLT

Es el equipo que interconecta la red ODN con el proveedor de servicios y cumple las funciones de conversión de señal eléctrica a señal óptica para su distribución.

Los componentes de un equipo OLT son:

- Un chasis
- Una tarjeta de ventiladores (fan tray)
- Tarjetas de poder.
- Tarjetas de gestión y control.
- Tarjetas de uplink.
- Tarjetas de servicios.
- Tarjetas de 16 x E1s para tráfico de telefonía.

3.2 ODN

Está conformada por el cable de fibra óptica desplegado en el área metropolitana, tanto el troncal como los de acceso para ingreso a los inmuebles.

3.2.1 Fibra Óptica. La fibra óptica puede ser clasificada tanto por sus especificaciones técnicas, como también por la cantidad de hilos, o tipo de adosamiento en postes.

Fibra Óptica: Según especificaciones técnicas:

Los estándares de fibras utilizados para comunicaciones de largas distancias son las fibras monomodo G.652 y G.655. Ambos estándares se encuentran en el medio tanto en la ciudad de Guayaquil como a nivel Nacional.

Tabla 1. Cualidades de la fibra G.652.D

| Características de la fibra G.652.D | | |
|-------------------------------------|------------------|----------------------|
| Diámetro de campo modal | Longitud de onda | 1310 nm |
| | Rango | 8.6 – 9.5 μm |
| | Tolerancia | $\pm 0.6 \mu m$ |
| Características del cable | | |
| Longitud de onda de corte de cable | Máximo | 1260 nm |
| Coeficiente de atenuación | 1310 a 1625 nm | 0.4 dB/Km |
| | 1383 $\pm 3nm$ | 0.4 dB/Km |
| | Max a 1625 nm | 0.3 dB/Km |
| Coeficiente de PMD | M | 20 cables |
| | Q | 0.01% |
| | Max PMDq | 0.20 ps/ \sqrt{km} |

Tabla 2. Cualidades de la fibra G.655.D

| Características de la fibra G.655.D | | |
|-------------------------------------|------------------|----------------------|
| Diámetro de campo modal | Longitud de onda | 1550 nm |
| | Rango | 8 – 11 μm |
| | Tolerancia | $\pm 0.6 \mu m$ |
| Características del cable | | |
| Longitud de onda de corte del cable | Máximo | 1450 nm |
| Coeficiente de atenuación | Max a 1550 nm | 0.35 dB/Km |
| | Max a 1625 nm | 0.4 dB/Km |
| Coeficiente de PMD | M | 20 cables |
| | Q | 0.01% |
| | Max PMDq | 0.20 ps/ \sqrt{km} |

Fibra Óptica: Según ubicación de despliegue:

Cables interiores: Para despliegues dentro de edificios, expandir en pequeña porción la red, o para usar en pequeñas ducterías para unir máximo 2 edificios.

Cable Exterior ADSS: Completamente cubierto por material dieléctrico, elimina el uso del mensajero, lo cual da nuevas ventajas como menor peso del cable en los postes y el soporte en los mismos lo realizan sus herrajes. En el medio (Guayaquil) se encuentran cables ADSS con 24 hilos de fibra aunque puede diseñarse de hasta 864 hilos dependiendo de la distancia a usar.

Cable Exterior Figura 8: Cable compuesto por los hilos de fibra envueltos por dieléctrico PVC el cual está sujeto a un mensajero también recubierto. En el medio se usan de 48 hilos, 96 hilos y 144 hilos, aunque se pueden fabricar hasta de 288 hilos.

3.2.2 Splitter. Dividen la señal óptica en varios caminos con mínimas pérdidas. En la Tabla 3 se muestran los valores de pérdidas de inserción para diversos modelos de splitters.

Tabla 3. Pérdidas de splitter óptico

| Relación | Pérdida de Inserción (dB) |
|----------|---------------------------|
| 1:2 | 3.6 |
| 1:4 | 7.2 |
| 1:8 | 11 |
| 1:16 | 14 |
| 1:32 | 17.5 |

3.2.3 Cajas de Empalme. Las cajas de empalme o NAP, son dispositivos de protección en donde en su interior se realiza la división de un cable de fibras en varias ramas mediante un casete.

Se usa básicamente para bajar de la red troncal a la de distribución.

3.3 ONT

La ONT es la encargada de decodificar los datos provenientes del OLT de proveedor del servicio. Los datos upstream y downstream son enviados y recibidos en diferentes longitudes de onda para evitar colisiones de los datos en la transmisión.

4. Análisis de la red HFC

Entre los aspectos que se estudiarán para realizar una correcta comparación y migración, serán el ancho de banda del sistema y como se distribuyen los canales en el espectro, así mismo la capacidad de usuarios en el recorrido del cable, cálculo de pérdidas, y detalles económicos de la implementación de HFC en un sector de Guayaquil.

4.1 Análisis Espectral

Siguiendo las recomendaciones establecidas en DOCSIS, en Ecuador se tiene una distribución de los canales ascendentes y decentes de 5 a 42 MHz y 57 a 860 MHz respectivamente como se muestra en la Figura.



Figura 3. Repartición de canales de HFC

4.2 Planificación de la Red

Cada salida del nodo final es capaz de dar servicio a 500 usuarios aproximadamente, con cuatro salidas por nodo se tiene una capacidad máxima de 2000 usuarios, en el sector seleccionado hay una población de 1585 usuarios activos.

La Figura muestra el esquema de una red HFC de un sector de la ciudad de Guayaquil, en éste se observa parte de la red de distribución, el cable coaxial (por lo general cable 500) parte del nodo y en los postes se

ubicar lo taps que es donde se deriva esta señal hasta la casa del abonado.

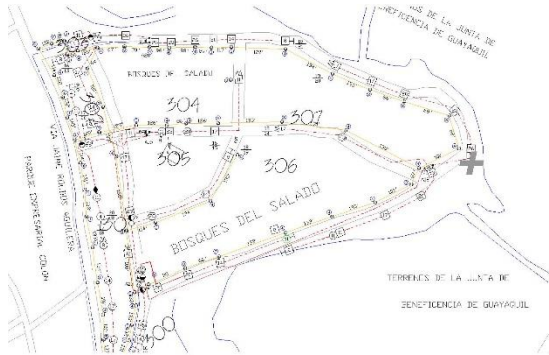


Figura 4. Sector de Urdesa Norte con red HFC

4.3 Análisis de Costo de Levantamiento de la Red

Para realizar el desglose de costos y análisis del mismo, se analiza la etapa de la red a migrar, lo cual es a partir del nodo óptico que abastece de servicio al sector de Urdesa Norte de la ciudad de Guayaquil.

Tabla 4. Desglose de inversión inicial

| Equipo | Cantidad | Precio Unidad | Total |
|----------------------------|----------|---------------|------------|
| Nodo Óptico | 1 | 6000 | 6,000.00 |
| Cable Coaxial RG .500 | 16 Km | 1.50 dol/mt | 24000.00 |
| Cable coaxial RG6, RG11 | 30 Km | 0.48 dol/mt | 14,400.00 |
| Tap 2 Vías | 165 | 26 | 4,290.00 |
| Tap 4 Vías | 240 | 21 | 5,040.00 |
| Tap 8 Vías | 240 | 17.50 | 4,200.00 |
| Splitters | 21 | 40 | 840.00 |
| Amplificador Óptico | 7 | 1500 | 10,500.00 |
| Fuente de Poder | 11 | 900 | 9,900.00 |
| Herrajes | 530 | 2 | 1,060.00 |
| Cinta Eriband (Rollos) | 18 | 20 | 360.00 |
| Hebillas | 520 | 0.20 | 104.00 |
| Amarras Plásticas (50 uni) | 11 | 2.80 | 30.80 |
| Etiquetas | 520 | 0.15 | 78.00 |
| Grilletes o Abrazadera | 300 | 0.50 | 150.00 |
| Equipamiento para Usuario | 1585 | 150 | 237,750.00 |
| | | | 0 |
| | | | 318,702.80 |

5. MIGRACIÓN A RED G-PON

Los parámetros más importantes a considerar para el diseño de la red G-PON son los que se detallan en la Tabla 5, que son las principales limitantes a considerar

al momento de realizar la distribución de cable y equipos.

Tabla 5. Características de alcance de G-PON

| | |
|-------------------------|------------------|
| Máxima distancia lógica | 60 km |
| Máxima distancia física | 20 km |
| Relación de Splitter | 1:64 hasta 1:128 |

Según la ITU-T G.984.3 La recomendación en los sistemas de G-PON referente a tasas de transmisiones es:

- Asimétrico: 1.24416 Gbps de subida, 2.48832 Gbps de bajada.
- Simétrico: 2.48832 Gbps de subida, 2.48832 Gbps de bajada.

5.1 Hub o Nodo

Espacio físico, comprado o arrendado por la empresa de servicio de datos, en la cual se encuentra un elemento que sirve de interfaz intermediaria entre la red metropolitana y la red G-PON.

5.2 Escalabilidad

En el sector seleccionado para el estudio, se tienen un total 1585 usuarios y una capacidad de captación máxima de hasta 2000 usuarios. Con la migración de la red habrá una escalabilidad de hasta 2560 usuarios. Adicionalmente la infraestructura de la red diseñada para G-PON será compatible con futura evoluciones como XG-PON o WDM-PON.

5.3 Eficiencia

Gracias a las técnicas de multiplexación que ofrece G-PON, la convierte en una de las tecnologías más eficientes entre las demás redes PON, soportando diferentes tipos de servicios y protocolos de transporte que aseguran la transmisión de datos rápida y confiable.

Tabla 6. Comparación de eficiencia de redes PON

| Eficiencia | ITU-T BPON | ITU-T EPON | ITU-T G-PON |
|-------------|------------|------------|-------------|
| Ascendente | 83% | 61% | 93% |
| Descendente | 80% | 73% | 94% |

5.4 Marco Regulatorio

Es importante considerar que para la instalación de redes de telecomunicaciones en la ciudad de Guayaquil, existen varias entidades que regulan los permisos correspondientes del espacio metropolitano para el uso de cables, cada una con su respectiva normativa.

Entre las instituciones que intervienen se encuentran:

- Ministerio de Telecomunicaciones
- Muy ilustre Municipalidad de Guayaquil
- Empresa Eléctrica de Guayaquil
- Fideicomiso de Telecomunicaciones

Con respecto a la red hacia los abonados existen parámetros referenciales sobre la cantidad de cables de acceso permitidos en los postes los cuales no tienen costo de alquiler por parte de la Empresa Eléctrica y en los que la migración tiene el beneficio de que se permite mayor cantidad de cables

Tabla 7. Norma de instalación de cables acceso

| Tipo de Cable | Cables de Acceso | Máxima cantidad de postes para Cable de acceso |
|---------------|-----------------------|--|
| Fibra | 1 entrada a 8 salidas | 8 Postes |
| Coaxial | 1 entrada a 6 salidas | 4 Postes |

5.5 Seguridad

G-PON usa el algoritmo de encriptación AES (Advanced Encryption Standard) que es un sistema de cifrado simétrico que opera en bloques de datos de 16 bytes (128 bits). Acepta 128, 192 y 256 claves de cifrado.

5.6 Distribución de la Red

Se ha segmentado la zona de estudio la cual es Urdesa Norte, en 4 sub-zonas más pequeñas. La zona de estudio comprende el sector de Bosques del Salado, Portón de las Lomas y todo el tramo de Urdesa Norte desde el club de Leones hasta la Iglesia de los Mormones.

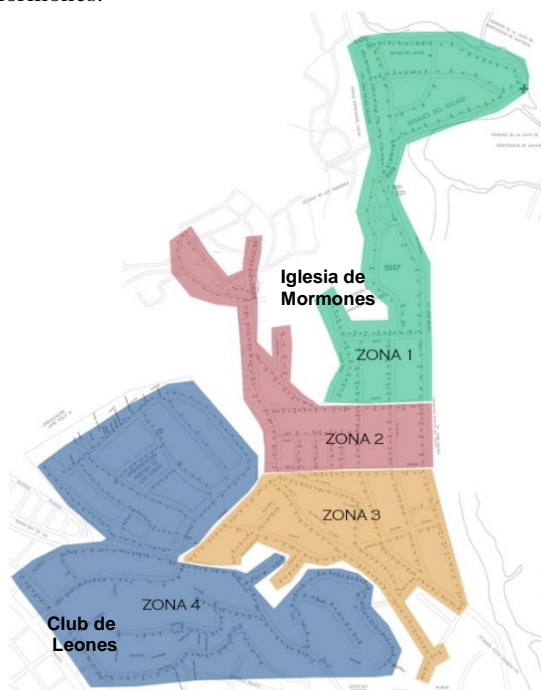


Figura 5. Sectorización de Urdesa Norte

Tabla 8. Distribución de abonados por zona

| | Número de abonados |
|--------|--------------------|
| Zona 1 | 284 |
| Zona 2 | 500 |
| Zona 3 | 419 |
| Zona 4 | 382 |

Cada puerto G-PON puede abarcar hasta 128 ONUs, debido a la cantidad de usuarios existentes y teniendo en cuenta la escalabilidad de la red se ha considerado usar 20 puertos G-PON que en total representa $128 \times 20 = 2560$ usuarios.

A partir del OLT salen 20 hilos de fibra óptica que llegan al ODF, éste distribuye a las 4 zonas asignadas llegándoles 5 hilos de fibra a cada una, dando una capacidad máxima de 640 usuarios por zona.

Cada hilo de fibra pasa por dos etapas de splitters como se ilustra en la Figura, la primera etapa consiste en usar splitters de relación de 1:8 y la segunda etapa cerca del abonado se usa splitters de relación 1:16, alcanzando así la capacidad de un puerto G-PON que como ya se mencionó es de 128 ONUs



Figura 6. Distribución de hilos de fibra óptica

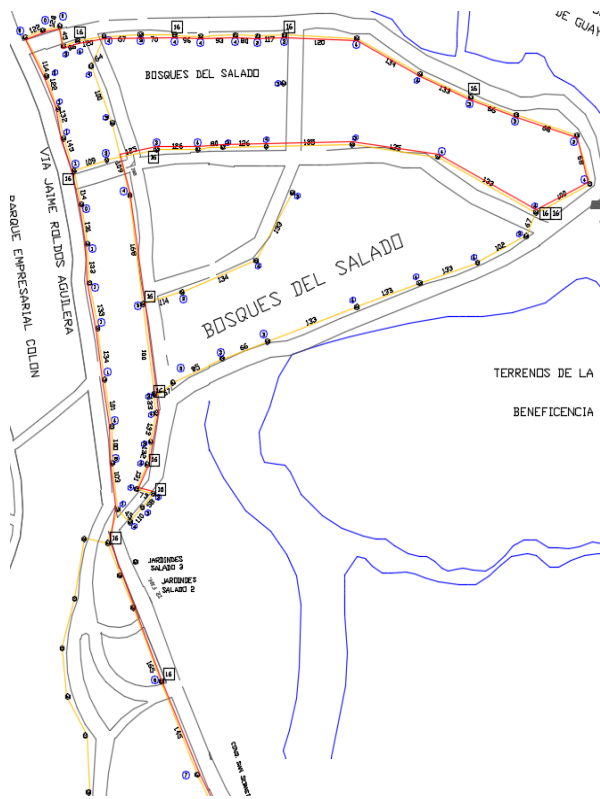


Figura 7. Diseño de la red G-PON

Tabla 9. Simbología de Figura 7.

| Simbología | Significado |
|------------|--------------------------|
| | Splitter de 1:16 |
| | Línea de Postes |
| | Fibra Óptica de 48 Hilos |
| | Fibra Óptica de 24 Hilos |
| | Fibra Óptica de 12 Hilos |
| | Fibra Óptica de 2 Hilos |
| | Caja de Empalme (Manga) |
| | Nodo |

5.7 Velocidades por Usuario

El ancho de banda total por puerto se divide entre la cantidad de ONUs que puede abastecer, en este caso al dividir ese número es 128, por lo que el ancho de banda final para cada usuario será de 19.44 Mbps dedicados para uso de Internet, el cual es un valor que satisface las necesidades actuales y la demanda de ancho de banda a los usuarios.

Tabla 10. Distribución de velocidades máxima

| G-PON | Velocidad de línea | 1:128 |
|-------------|--------------------|------------|
| Descendente | 2.48832 Gbps | 19.44 Mbps |
| Ascendente | 1.24416 Gbps | 9.72 Mbps |

5.8 Cálculo de Potencias

Para calcular la atenuación de la señal de extremo a extremo se utiliza la siguiente fórmula:

$$A_T = A_F N_F + A_C N_C + A_{FO} L_{FO} + A_S N_S$$

Donde:

A_F = Atenuación por fusión

N_F = Número de fusiones

A_C = Atenuación por conectores

N_C = Número de conectores

A_{FO} = Atenuación por fibra óptica

L_{FO} = Longitud del cable de fibra óptica

A_S = Atenuación por Splitters

N_S = Número de Splitters

Tabla 11. Valores típicos de atenuaciones

| Elemento | Atenuación |
|-------------------------------|------------|
| Fibra Óptica 1310 nm (Km) | -0.4 dB |
| Fibra Óptica 1550 nm (Km) | -0.3 dB |
| Fibra Óptica 1490 nm (Km) | -0.35 dB |
| Empalme por fusión | -0.03 dB |
| Pérdidas inserción (conector) | -0.5 dB |
| Splitter 1:16 | -14 dB |
| Splitter 1:8 | -11 dB |

Se analiza el cálculo de pérdidas para el cliente con mayor longitud desde el hub hasta su domicilio.

$$A_T = (0.03)(2) + (0.5)(2) + (0.3dB)(2.6km) + 14 + 11 = 26.84$$

Se calcula que la pérdida es de 26.84 dB que se encuentra dentro del rango permitido que es de 28 dB en este caso.

Para que la señal pueda llegar sin ningún problema al hogar del usuario se necesita obtener la potencia que requiere el equipo final, en este caso el ONU del usuario.

Este valor se denomina sensibilidad y está relacionado directamente con la fórmula:

Con el valor de las pérdidas ya calculado de 26.84 dB, un margen de guarda o seguridad que se asigna de 3 dB y el valor de potencia del transmisor que se observa en la Tabla 12, se procede a calcular la sensibilidad del receptor para el usuario más lejano.

Tabla 12. Potencias estándares en G-PON B+

| OLT: | | |
|---------------------------|-----|------|
| Potencia de salida mínima | dBm | +1.5 |
| Potencia de salida máxima | dBm | +5 |
| Sensibilidad | dBm | -28 |
| Sobrecarga Mínima | dBm | -8 |
| ONU: | | |
| Potencia de salida mínima | dBm | +0.5 |
| Potencia de salida máxima | dBm | +5 |
| Sensibilidad | dBm | -27 |
| Sobrecarga Mínima | dBm | -8 |

$$Sensibilidad = +5 - 26.84 - 3$$

$$Sensibilidad = -24.84$$

La sensibilidad en el ONU más lejano da un valor de -24.84 dB que se considera como aceptable ya que está en el rango permitido

5.9 Análisis Económico de la Migración

5.9.1 Inversión Inicial. La inversión inicial ha sido desglosada en cuatro etapas las cuales se muestra los gastos para equipamiento de toda la red G-PON nueva.

Tabla 13. Levantamiento del nodo

| Elemento | Costo |
|------------------------------|------------------|
| Negociador y Movilización | 1,500.00 |
| OLT C300 y 3 Tarjetas de 8P | 4,000.00 |
| ODF | 600.00 |
| Aire Acondicionado | 1,400.00 |
| Acondicionamiento del Acceso | 1,000.00 |
| Acondicionamiento del Lugar | 1,200.00 |
| Generador | 1,800.00 |
| Banco de Baterías | 1,200.00 |
| Rack y Switch | 6,000.00 |
| Materiales de Trabajo | 1,300.00 |
| | 20,000.00 |

Tabla 14. Implementación de la red de distribución

| Equipo | Cantidad | Precio Unidad | Total |
|----------------------------|----------|---------------|------------------|
| Splitter 1:16 | 130 | 30 | 3,900.00 |
| Splitter 1:8 | 20 | 25 | 500.00 |
| Cable de FO de 48 Hilos | 8 Km | 4.25 \$/m | 34,000.00 |
| Cable de FO de 24 Hilos | 6 Km | 3.75 \$/m | 22,500.00 |
| Cable de FO de 12 Hilos | 2 Km | 3.50 \$/m | 7,000.00 |
| Cajas BMX | 96 | 10 | 960.00 |
| Cajas NAP (Mangas) | 1 | 45 | 45.00 |
| Herrajes | 530 | 2 | 1,060.00 |
| Cinta Eriband (Rollos) | 20 | 20 | 400.00 |
| Hebillas | 520 | 0.20 | 104.00 |
| Amarras Plásticas (50 uni) | 11 | 2.80 | 30.80 |
| Etiquetas | 520 | 0.15 | 78.00 |
| Grilletes o Abrazadera | 300 | 0.50 | 150.00 |
| | | | 70,727.80 |

Tabla 15. Gastos totales de equipamiento

| Etapa de la Red | Costo |
|---|-------------------|
| Nodo (Acondicionamiento y Equipamiento) | 20,000.00 |
| Red de Distribución | 70,727.80 |
| Equipamiento para Usuarios | 364,550.00 |
| Red de Acometida para usuarios | 24,000.00 |
| | 479,277.80 |

Como resultado se requiere una inversión inicial de \$479,277.80, financiamiento destinado únicamente para equipamiento e infraestructura.

5.9.2 Gastos Operativos. Se realizó una estimación de hasta cinco años de los gastos operativos que cubrirá la empresa en el proyecto.

Tabla 16. Proyección de gastos operativos

| Gastos Operativos en miles de dólares | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Personal Técnico | 126 | 176.4 | 126 | 126 | 126 |
| Personal de Control y Diseño | 72 | 72 | 72 | 72 | 72 |
| Gestión Comercial y Publicidad | 14.4 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| Uso de Postes | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Movilización | 42 | 58.8 | 42 | 42 | 42 |
| Caja Chica | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Arriendos de Espacio | 14.4 | 14.4 | 14.4 | 14.4 | 14.4 |
| Total | 292.8 | 366.6 | 299.4 | 299.4 | 299.4 |

5.9.3 Ingresos Económicos. Se considera un ARPU de 60.00 dólares y un costo de instalación de 20.00 dólares los cuales serán cobrados únicamente a los nuevos usuarios.

Tabla 17. Proyección de ingresos

| Ingresos | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 | Año 5 |
|------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Ingresos por Clientes | 288,000 | 1,141,200 | 1,285,200 | 1,357,200 | 1,645,000 |
| Cobro de Instalaciones | 0.00 | 0.00 | 4,000 | 2,000 | 2,000 |
| Total | 288,000 | 1,141,200 | 1,289,200 | 1,359,200 | 1,647,200 |

6. Viabilidad de la migración

Para determinar la viabilidad económica del proyecto se consideran dos parámetros muy usados que son el VAN y el TIR. Para el cálculo de estos parámetros se requiere una estimación de flujo de caja.

Tabla 18. Flujo de caja en miles de dólares (x 1000)

| | Inicio | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 |
|-------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Beneficios | 0 | 288 | 1,141.2 | 1,289.2 | 1,359.2 |
| Inversión | -90,727 | -388.55 | 0 | -161 | 0 |
| Gastos Operativos | 0 | -292.8 | -366.6 | -299.4 | -299.4 |
| Flujo | -90,727 | -393.35 | 774.6 | 902.8 | 1,279.8 |
| Utilidad (15%) | 0 | 0 | 116.19 | 135.42 | 191.97 |
| Total | -90,727 | -393.35 | 658.41 | 704.48 | 900.83 |

Con las estimaciones de gastos e ingresos se ha obtenido un valor de TIR de 29% en el año 2, además se analiza el VAN al segundo año y dado que ambos entregan un resultado positivo se tiene un alto nivel de aceptación del proyecto con lo que se concluye que la migración es viable y rentable con una recuperación de inversión a 2 años.

Tabla 19. TIR y VAN al año dos

| | Año 2 |
|------------------|---------------|
| TIR | 29% |
| VAN (15%) | \$ 155,809.47 |

Sin embargo a pesar de que el proyecto sea viable en sus aspectos económicos y técnicos, existe una restricción a nivel nacional emitida en el registro oficial No. 51 en agosto del 2013 en el cual se establece que toda red nueva de cableado eléctrico y de telecomunicaciones debe ser soterrada con el fin de reducir el impacto visual ocasionado por las mismas.

Tabla 20. Flujo de caja en miles de dólares con soterramiento (x 1000)

| | Inicio | Año 1 | Año 2 | Año 3 | Año 4 |
|-------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| Beneficios | 0 | 288 | 1,141.2 | 1,289.2 | 1,359.2 |
| Inversión | -90.72 | -388.5 | 0 | -161 | 0 |
| Gastos Operativos | 0 | -1,120.8 | -354.6 | -287.4 | -287.4 |
| Soterramiento | 0 | -140 | 0 | 0 | 0 |
| Flujo | -90.72 | -1,361.3 | 786.6 | 840.8 | 1,071.8 |
| Utilidad (15%) | 0 | 0 | 117.99 | 126.12 | 160.77 |
| Total | -90.72 | -1,361.3 | 668.61 | 714.68 | 911.03 |

Mientras en el análisis con tendido aéreo la inversión es recuperada a los dos años de iniciar el proyecto, con la fibra soterrada es a cuatro años y con TIR de 24%, para lo cual porcentajes menores como 15% de interés en el financiamiento sigue dando como resultado un buena rentabilidad.

Tabla 21. TIR y VAN considerando soterramiento

| | Año 2 | Año 3 | Año 4 |
|------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|
| TIR | -52% | -3% | 24% |
| VAN (15%) | (\$678,217,39) | (\$208,303,69) | \$312,580,67 |

7. Conclusiones

- Se puede concluir que la red G-PON presenta simplicidad y al ser una red completamente pasiva hace que los trabajos de mantenimiento sean considerablemente más económicos y seguros.
- G-PON ofrece mayores velocidades y capacidad de adaptación a futuras redes, ya que bajo la misma estructura se puede implementar redes PON de mayor velocidad como son XG-PON o WDM-PON.
- Al realizar el análisis económico tanto de HFC como G-PON en la misma zona, claramente existe un costo más alto en lo que respecta a equipos e instalación de la red G-PON.
- Basados en los valores de TIR obtenidos, se concluye de que la migración de la red es viable y rentable, con recuperación de inversión en dos años para instalación aérea, y una recuperación de tres años para una instalación soterrada.
- Debido a impedimentos regulatorios en la ciudad de Guayaquil, la mejor forma en la que se puede realizar la migración manteniendo la red antigua y la nueva de forma simultánea es colocando la nueva red de forma subterránea.

8. Recomendaciones

- Por lo tanto una zona con alta densidad de usuarios podría verse afectada por las pérdidas por splitters. En estos escenarios se recomienda la instalación del nodo cerca de la zona.
- En caso de que las negociaciones para realizar la migración por tendido aéreo no den el resultado esperado, se recomienda realizarlas vía soterrada.
- Para el caso por soterramiento es recomendable coordinar con otras operadoras y compañías de Telecomunicaciones que también realicen el mismo tipo de instalaciones en la zona y se agilice el proceso de licitación de los permisos municipales para realizar este tipo de instalación considerando la regeneración urbana.
- En situaciones en las que se requiera instalar una red G-PON para una distribución de mayor alcance, aproximadamente 10 Km, se recomienda implementar splitters con un radio máximo de 64.

9. Referencias

- [1] Donoso José, Estudio de Factibilidad y Diseño de una Red HFC para Aplicaciones Triple Play para la Empresa Parabólica del Norte en la Ciudad de Atuntaqui, <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5605/1/T-ESPE-033679.pdf>, 2012
- [2] ITU-T, Transmission media and optical systems characteristics –Optical fibre cables: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable, Recommendation ITU-T G.652, 2009.
- [3] ITU-T, Transmission media and optical systems characteristics –Optical fibre cables: Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable, Recommendation ITU-T G.655, 2009.
- [4] FibreMex, ¿Qué cable de fibra óptica es el óptimo para mi instalación?, <http://fibremex.com/fibraoptica/index.php?mod=news&ext=news&id=30>, 2012.
- [5] Alulima Enrique, Paladines César, Diseño de una Red GPON para la localidad de Vilcabamba, [http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8473/1/Alulima_Salazar_Enrique_Israel%20_Paladines_Bravo_Cesar_Augusto\(Para%20subir%20a%20dspace\).pdf](http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/8473/1/Alulima_Salazar_Enrique_Israel%20_Paladines_Bravo_Cesar_Augusto(Para%20subir%20a%20dspace).pdf), 2014.
- [6] ITU-T, Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Transmission convergence layer specification, Recommendation ITU-T G.984.3, 2014.

- [7] Larrea Juan, Rivera Fredy, Propuesta de factibilidad técnico económico para la implementación de una red de acceso con tecnología de Gpon para brindar el servicio triple play en la Ciudad de Cuenca, <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1608/12/UPS-CT002285.pdf>, 2010.
- [8] M.I. Municipalidad de Guayaquil, Ordenanza que Regula la Instalación de Postes y Líneas de Media y Baja Tensión de Energía Eléctrica y de Telecomunicaciones Aéreas y subterráneas en el Cantón Guayaquil, Capítulos III y IV, 2012.
- [9] Eléctrica de Guayaquil, Normas Técnicas para la Instalación de Redes de Telecomunicaciones en la Infraestructura de la Eléctrica de Guayaquil, 2013.
- [10] Telnet Redes Inteligentes, GPON Introducción y Conceptos Generales, <http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-GPON-introduccion-conceptos.pdf>, 2012.
- [11] Huawei Technologies, GPON Fundamentals, http://jm.telecoms.free.fr/QCM_Fibre/GPON-Fundamentals_Huawei.pdf, Fecha de consulta: Diciembre del 2014.