

Estudio y Diseño de una Red de Última Milla, Utilizando la Tecnología G-PON, Para el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito

Cevallos R. Ramiro¹, Montalvo E. Richard² y Vinueza R. Mónica³.

Ingeniería Electrónica y Redes de Información, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador

Resumen— El presente proyecto trata sobre el estudio y diseño de una red de acceso, desde el punto de vista de un ISP genérico, utilizando la tecnología G-PON, para el sector del nuevo aeropuerto de Quito, analizando ventajas y desventajas con las tecnologías actuales de acceso, así como también el costo de implementación y recuperación de la inversión.

El presente proyecto está compuesto básicamente de dos partes: un estudio realizado a las comunicaciones ópticas, y el diseño de una red de última milla GPON, desde el punto de vista de un proveedor de servicios, que incluye un estudio económico con costos referenciales de equipos disponibles en el mercado. A continuación se describe brevemente lo realizado.

Índices – Acceso, Aeropuerto, Costos, Equipos, Fibra óptica, Gastos, GPON, Usuarios.

I. INTRODUCCIÓN – ANÁLISIS GENERAL DE LAS COMUNICACIONES ÓPTICAS.

Fibra óptica— La fibra óptica (F.O.) es un filamento delgado y flexible básicamente compuesto por un núcleo o *Core* de plástico o vidrio de alto índice de refracción sobre el que se monta una cubierta, manto o *Cladding* de plástico o vidrio de menor índice de refracción, cubriendo a esta última una chaqueta, envoltura o *jacket*. Adicionalmente se puede encontrar un material de refuerzo rodeando el manto de la fibra, por ejemplo, fibra de aramido. Dicha estructura se muestra en la figura 1:

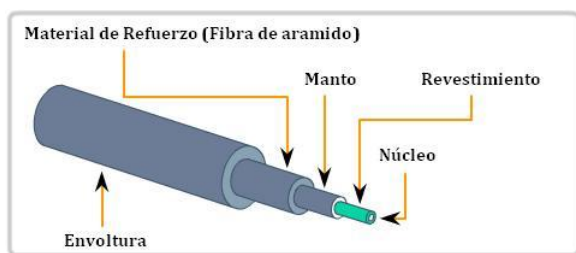


Fig. 1. Estructura básica de una fibra óptica [1].

Fibra óptica multimodo— Fibra en la cual múltiples rayos son transmitidos al interior de la fibra. Cada rayo tiene diferente modo de propagación.

En fibras multimodo el diámetro del núcleo de la fibra puede variar entre 50 y 200 micrones y del manto de 125 a 240 micrones. Una configuración típica tiene un núcleo de 50 μm y un manto de 125 μm (fibra 50/125).

Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión. Pueden ser de dos tipos: fibra óptica multimodo de índice escalonado y fibra óptica multimodo de índice gradual.

Fibra óptica monomodo— Son fibras en las cuales el diámetro del núcleo se reduce significativamente, llegando a ser del orden de 4 a 10 micrones (8 μm es típico), a tal punto que un solo rayo de luz se propaga en línea recta (sin rebotar) en el interior del núcleo de la fibra.

Presentan características de ancho de banda notablemente superiores a las de las fibras multimodo. Pueden utilizarse a mayores velocidades de transmisión y a mayores distancias (varios Gbps).

Debido al pequeño tamaño del núcleo, es muy difícil acoplar luz a la fibra monomodo y se deben utilizar componentes de mayor precisión. Las fibras monomodo son las de más bajas pérdidas y las de mayor capacidad, aunque las más costosas.

Ventajas de la fibra óptica— Gran ancho de banda y velocidad de transmisión, inmunidad a la interferencia electromagnética, inmunidad a la interferencia estática, amplio rango de temperatura de operación, baja atenuación, alta seguridad, resistencia a la corrosión, escalabilidad y larga vida útil, bajo peso y volumen.

Desventajas de la fibra óptica— Conversión electro/óptica, altos costos, fragilidad de la fibra, resistencia al cambio en los usuarios.

Splitter— Los *splitters* son un tipo de acoplador que se utilizan comúnmente en las redes ópticas pasivas debido a su funcionalidad y desempeño en estos sistemas. El *splitter* es un dispositivo bidireccional que tiene un puerto de entrada y múltiples puertos de salida en donde la señal óptica de entrada (enlace descendente) es dividida entre los puertos de salida, permitiendo a múltiples usuarios el

¹ R. Cevallos es Analista Senior T/C en el área de Tecnología de PRODUBANCO S.A., Quito-Ecuador.

(email: cevallosr@produbanco.com)

² R. Montalvo es Analista de Proyectos T/C en el área de Internet, Datos y TV Pichincha de CNT S.A., Quito-Ecuador.

(email: richard.montalvo@cnt.gob.ec)

³ M. Vinueza es Profesor Principal T/C en el Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información de la Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

(e-mail: monica.vinueza@epn.edu.ec)

compartir una sola fibra óptica y consecuentemente el ancho de banda disponible es el mismo.

Estos dispositivos añaden pérdidas ya que dividen la potencia de entrada. Esta pérdida se expresa en dB y depende principalmente del rango de *splitteo*, definido como el número de puertos de salida existentes por cada entrada (se pierde 3 dB aproximadamente por cada *splitter* de 1x2). Adicionalmente, los *splitters* ópticos presentan otros tres tipos importantes de pérdidas:

- Pérdida de exceso (*Excess Loss, EL*): es la pérdida de todo el sistema, comprendida desde su entrada hasta su salida. Se expresa en dB.
- Pérdida de inserción (*Insertion Loss, IL*): es la pérdida total respecto a una salida. Se expresa en dB. Es la suma de la pérdida de exceso (EL) y el rango de *splitteo* (CR): $IL = CR + EL$.
- Pérdida de retorno (*Return Loss, RL*): es el rango de potencia de vuelta reflejada en un puerto. Se expresa en dB.

Los valores de pérdidas antes mencionados varían de acuerdo al fabricante del *splitter*. No se ha considerado tampoco un valor de 0.2 dB de pérdida por el conector del *splitter*. Ejemplos de valores típicos de pérdidas de inserción en *splitters*, que incluyen pérdidas por división y exceso, son las siguientes:

- *Splitter* de 1x2: 3,70 dB
- *Splitter* de 1x3: 5,10 dB
- *Splitter* de 1x4: 7,25 dB
- *Splitter* de 1x8: 10,38 dB
- *Splitter* de 1x16: 14,10 dB
- *Splitter* de 1x32: 17,45 dB

Los tipos más comunes son: el de guía de onda plana y el acoplador de fibra FBT (*Fused Biconic Tapered*).

Soluciones de acceso con FO (FTTX)— Una red de acceso con fibra óptica, comúnmente llamada OAN (*Optical Access Network*) adopta 2 tecnologías: P2P (*Point to Point*) y PON (*Passive Optical Network*).

En la figura 2 se puede ver un esquema de una red de acceso genérico basado en fibra, donde se distinguen tres segmentos fundamentales que son:

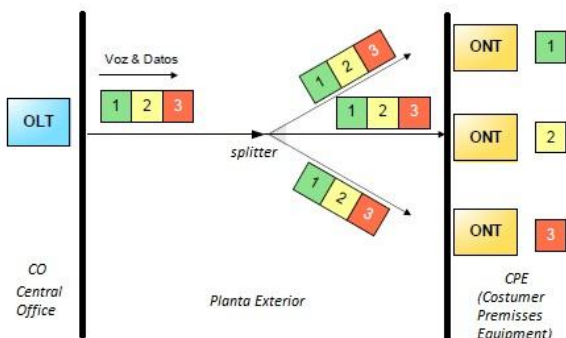


Fig. 2. Esquema genérico de una red de acceso de Fibra óptica [2]-[3].

- La oficina central CO (*Central Office*), lugar donde se encuentran los equipos OLT (*Optical Line Terminal*),

- La planta exterior, que constituye la red de fibra, incluyendo los divisores ópticos o *splitters*, y,
- El segmento final donde está el equipo para el usuario, el ONT (*Optical Network Terminal*) o el ONU.

Las redes OAN tienen varios modelos de aplicación, entre los más comunes:

- FTTC (*Fiber to the Curb*), Fibra hasta el bordillo
- FTTB (*Fiber to the Building*), Fibra hasta el edificio
- FTTH (*Fiber to the Home*), Fibra hasta el hogar
- FTTO (*Fiber to the Office*), Fibra hasta la oficina
- FTTN (*Fiber to the Node*), Fibra hasta el nodo (también llamada fibra hasta el vecindario).

Un sistema de acceso PON debería constituirse en una solución completamente óptica en respuesta al continuo crecimiento en los requerimientos de ancho de banda en el acceso de última milla. Las redes de acceso PON presentan una tendencia a entregar servicios de triple-play a los suscriptores finales. Una solución total FTTX es mostrada en la figura 3:

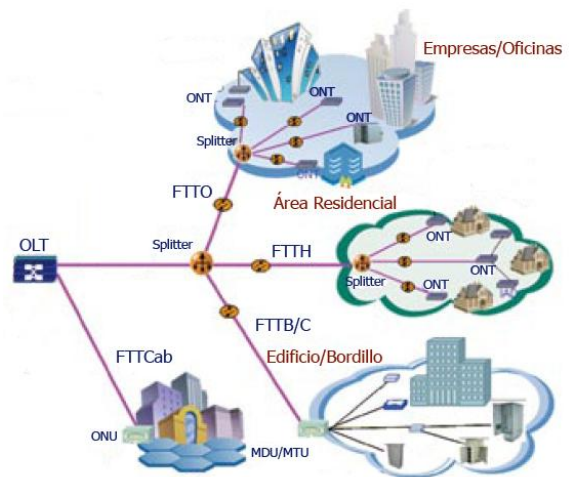


Fig. 3. Solución total de acceso con FTTX [4].

Características generales de los sistemas PON— PON es una tecnología punto-multipunto. Todas las transmisiones en una red PON se realizan entre la OLT, localizada en el nodo óptico u oficina central (CO) y la ONU. Si la unidad ONU se ubica en domicilio de usuario, se tendrá un esquema de tipo FTTH. Todas las topologías PON utilizan fibra óptica monomodo para el despliegue. Las soluciones PON desarrolladas son las siguientes:

A. APON (*Asynchronous Transfer Mode Over PON*):

Fue el primer esquema PON definido en la recomendación ITU-T G.983.1 en 1998. Especifica un modo de transmisión asíncrono (ráfagas de celdas ATM) como su protocolo de capa de enlace de datos. APON trabaja en modo asimétrico con una tasa de 622 Mbps en sentido descendente y 155 Mbps en sentido ascendente, y en modo simétrico con una tasa de 155 Mbps tanto ascendente como descendente. La topología en APON es de tipo 'árbol'. El principal inconveniente de APON es la limitación de su velocidad a los 622 Mbps.

B. BPON (Broadband PON)

Se basa en el estudio de las redes APON pero con la diferencia que pueden dar soporte a otros estándares de banda ancha. Se encuentra también especificada en la recomendación ITU-T G.983.3 del año 2001. Incrementa su tasa de transmisión simétrica a 622 Mbps. La desventaja que presenta es su coste elevado y limitaciones técnicas.

C. EPON (Ethernet PON)

Se diferencia de las anteriores en que no transporta celdas ATM sino directamente tráfico nativo Ethernet. El principal atractivo que presenta esta tecnología es su evidente optimización para el tráfico IP frente a la clásica ineficiencia de las alternativas basadas en ATM. Además, la interconexión de nodos EPON es mucho más sencilla que la interconexión de APON/BPON.

En la siguiente tabla se resume las principales características de las tecnologías PON.

TABLA I
RESUMEN COMPARATIVO FAMILIA PON [5]

Tecnología	Estándares	Tipo de Trama	Divisiones por fibra	Velocidad de subida	Velocidad de bajada
Ethernet FTTH	IEEE 802.3	Ethernet	1	10 Gbps	10 Gbps
BPON	ITU-T G.983.x	ATM	32	155 Mbps	622 Mbps
EPON	IEEE 802.3ah	Ethernet	32	1.2 Gbps	1.2 Gbps
GPON	ITU-T G.984.x	ATM GFP	32 64	622 Mbps 622 Mbps	1.2 Gbps 2.5 Gbps

II. GPON (GIGABIT-CAPABLE PASSIVE OPTICAL NETWORKS)

Las redes PON con capacidad de Gigabit fueron aprobadas en el año 2004 y han sido especificadas en las recomendaciones ITU-T G.984.

GPON ofrece un amplio soporte de servicios, incluyendo voz (TDM, SONET, SDH), Ethernet, ATM, Frame Relay, líneas arrendadas, extensiones *wireless*, etc., mediante el uso de un método de encapsulación conocido como GEM (GPON Encapsulation Method).

Permite soportar todos los servicios conocidos actualmente, así como también nuevos servicios que están siendo discutidos por abonados residenciales y clientes empresariales, debido a la capacidad de ancho de banda que ofrece esta tecnología.

Maneja dos combinaciones de velocidades de transmisión: 1.2 Gbps subida / 2.4 Gbps bajada y 2.4 Gbps subida / 2.4 Gbps bajada, siendo la más utilizada la primera de ellas.

Los rangos de los *splitters* que se utilizan para dividir las señales en GPON son de hasta 1:64 para la capa física y de hasta 1:128 en la capa de transmisión de convergencia.

Ofrece un mejoramiento de la confiabilidad de la red de acceso utilizando SDH (Jerarquía Digital Sincrónica).

Utiliza algunos mecanismos de seguridad, por ejemplo: previene que usuarios externos decodifiquen los datos de bajada, también previene que usuarios externos se hagan pasar por un ONU/ONT o un usuario.

La figura 4 muestra un esquema general de GPON. La tabla 2 resume los diferentes servicios de GPON en la red de última generación:

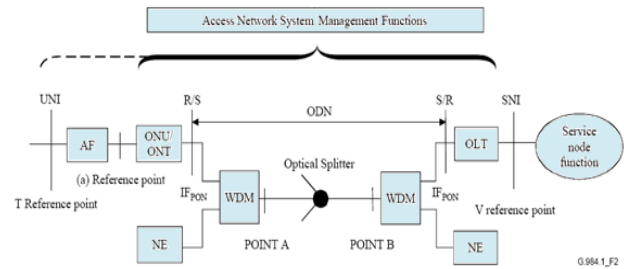


Fig. 4. Esquema general de GPON

TABLA II
SERVICIOS OFRECIDOS EN GPON [6]

Categoría de Servicio	Servicio
Servicios de Datos	Ethernet
	POTS
	ISDN (BRI)
PSTN	ISDN (PRI)
	T1
	E1
	DS3
	E3
Líneas Privadas	
Vídeo	Video Digital

La tabla 3, resume las principales características de las tecnologías de acceso más populares en la provincia de Pichincha, y las compara con GPON.

Entre ellas, GPON es la única que trabaja en su totalidad con fibra óptica. Así también, se puede ver que la velocidad de sus canales tanto ascendente como descendente es totalmente superior a ADSL y Cable Modem, se habla de Gpbs frente a Mbps de las otras. Respecto a las distancias máximas, también supera a ADSL, aunque no a Cable Modem. Sin embargo, esto se ve compensado con el uso de fibra óptica como medio de transmisión en lugar de cable coaxial. Además, GPON ofrece calidad de servicio (QoS).

TABLA III
COMPARACIÓN DE GPON CON OTRAS TECNOLOGÍAS DE ACCESO [*]

Tecnología	Medio de transmisión	Velocidad de canal ascendente	Velocidad de canal descendente	Máximo alcance físico	Inmunidad a EMI	Costos de instalación	Seguridad de la red	QoS	Popularidad	Servicio Triple Play
GPON	Fibra óptica	2 Gbps	2 Gbps	20 Km.	Si	Alto	Alta	Si	Baja	Si
ADSL	Cobre	1 Mbps	8 Mbps	5.5 Km.	No	Bajo	-	No siempre	Media	No
ADSL2	Cobre	1 Mbps	12 Mbps	5.5 Km.	No	Bajo	-	No siempre	Alta	No
ADSL2+	Cobre	12 Mbps	24 Mbps	5.5 Km.	No	Bajo	-	No siempre	Alta	Si
Cable Modem	Cobre	2.5 Mbps	27 Mbps	100 Km.	No	Medio	Media	No siempre	Media	Si

III. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS – SECTOR NUEVO AEROPUERTO DE QUITO

Situación actual del Aeropuerto Mariscal Sucre de Quito— A Diciembre del 2009, existen aproximadamente 205 operadores comerciales. Un Operador Comercial puede ser considerado una de las siguientes entidades: aerolíneas comerciales, aerolíneas de carga, empresas relacionadas a la aviación, empresas de *retail*, empresas de servicios, alimentos y bebidas, *duty free*, entidades gubernamentales.

ADC&HAS, contratada por Quiport como empresa concesionaria, administra tres redes troncales principales: administrativa, aeroportuaria y de seguridad. Se ofrecen varios servicios, entre ellos: Internet con o sin proxy, correo electrónico, telefonía híbrida (analógica y digital e IP).

Además sistemas de nómina, videoconferencia, sistemas de mantenimiento, se administran sistemas de chequeo y embarque de pasajeros, así como sistemas de información de vuelos.

La red de seguridad se encarga de administrar los sistemas de circuito cerrado de televisión para vigilancia, tanto para seguridad interna de la terminal, como seguridad aeroportuaria (seguridad en los aviones). El sistema de cámaras de seguridad es tradicional de tipo analógico y por cable coaxial. También la red se encarga de guardar registros de todos los eventos ocurridos en las salidas y llegadas de los vuelos.

La figura 5 muestra un diagrama general de la red del aeropuerto Mariscal Sucre:

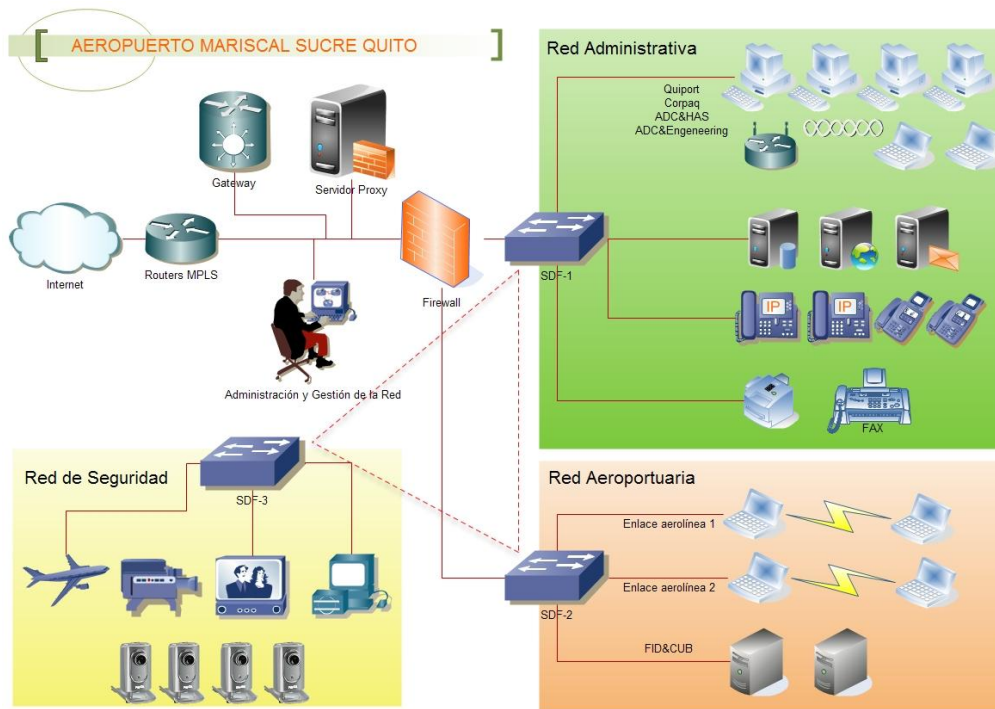


Fig. 5. Esquema red Mariscal Sucre Quito [7].

Proyección de la situación del nuevo Aeropuerto de Quito— La idea es tener no mayor cantidad de empresas y negocios, pero sí espacios más grandes para cada uno. Algunos de los negocios que se planea construir son: hoteles, bancos, farmacias, tiendas, supermercados, guarderías, un complejo comercial, gasolinera. No se implementarán negocios en los terrenos que rodean la entrada al nuevo aeropuerto, todo negocio y comercio se planea desarrollar alrededor de la terminal del aeropuerto. Asimismo, por su geografía, al estar este sector rodeado de quebradas, no permite poblar los alrededores de la zona con viviendas o negocios.

Luego de un análisis del sector, se prevé que para los primeros 5 años los usuarios potenciales se dividirán en dos grandes grupos: habitantes de la zona (residentes domiciliarios y negocios), y el aeropuerto propiamente dicho, dentro del cual se incluyen: negocios, aerolíneas, cadenas comerciales, restaurantes, etc. Se calcula que inicialmente tan solo un máximo del 5% de la capacidad total de acceso será utilizado por el primer grupo de usuarios mientras que el 95% restante será demandado por el nuevo aeropuerto. Sin embargo, este escenario podría cambiar significativamente desde el arranque de funcionamiento del aeropuerto, llegando a nivelarse la demanda de capacidad exterior hasta en un 50% en los siguientes años.

Según datos investigados, inicialmente todos los negocios y servicios del aeropuerto Mariscal Sucre se trasladarán al nuevo aeropuerto, es decir, la demanda de capacidad y tráfico de la red de acceso será prácticamente similar. Sin embargo, dadas las características físicas del nuevo aeropuerto (mayor cantidad de espacios para negocios, oficinas y líneas aéreas) se estima que en los próximos 5 años se llegará a duplicar e incluso triplicar la capacidad actual.

Interconexión con el nuevo Aeropuerto— ADC&HAS ha separado un terreno en el sector del nuevo aeropuerto para que se construya un nuevo nodo de telecomunicaciones que se interconecte al exterior. CNT pretende adquirir dicho terreno para que el nodo a construirse sea parte del anillo de red de la CNT en el cantón Quito. De esta manera, realizar una ampliación de su red, y poder llegar hasta dicho sector con todos los servicios que CNT ofrece, ya que actualmente debido a las distancias, no se llega aún con ningún otro proveedor a esa parte.

Dicho nodo, que podría llamarse “Nuevo Aeropuerto”, sería construido de acuerdo a la ubicación geográfica de la figura 6.



Fig. 6. Ubicación geográfica del esquema de nodos de CNT [8].

CNT garantizará la entrega del servicio hasta los equipos ubicados en el nuevo nodo. A partir de ese punto, será responsabilidad de Quiport y otras empresas que operen en el nuevo aeropuerto, el tipo de acceso y tecnología a utilizarse. Sin embargo, CNT también podría ofrecer servicios al usuario final.

Se continuará ofreciendo el servicio con la tecnología que actualmente ofrece la CNT: fibra óptica subterránea canalizada de tipo monomodo, y tecnología de tipo SDH con una capacidad de 2.5 Gbps. (STM-16). Dicha capacidad está prevista que satisfaga las necesidades de servicios de las redes del nuevo aeropuerto. Se proveerán varios STM-1 para el nodo.

La tendencia que se prevé es dar servicios de tipo IP-MPLS, por ejemplo: servicios de datos, televisión IP, telefonía con centrales IP, etc. La idea es tener un core de red tipo IP y todos los equipos de conectividad sean de capa 3. Inicialmente los servicios que se tienen en el aeropuerto actual se los migrará al nuevo pero a través de la tecnología antes mencionada.

IV. DISEÑO DE LA RED

Diagrama lógico genérico de la red— Se pone a consideración los diferentes elementos que se utilizará en la red GPON, enfocándose en el nuevo aeropuerto de Quito como principal cliente. Se utiliza un equipo OLT situado en el nodo designado por Quiport para las empresas que presten servicios de Internet, por medio del cual se podrá salir al exterior y realizar la división entre usuarios mediante *splitters*; de éstos saldrían los hilos de fibra para cada usuario final. Además se muestra en forma general como se encontrarían distribuidos los ONT en los diferentes edificios que tendrá el nuevo aeropuerto.

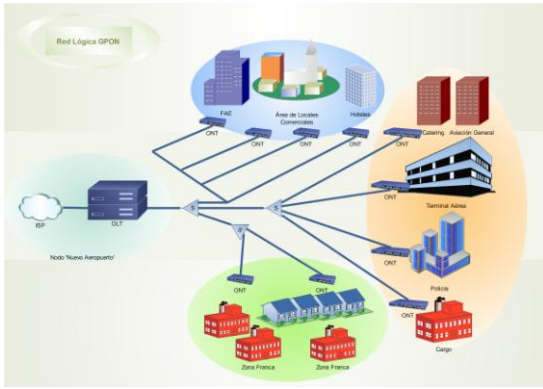


Fig. 7. Diagrama lógico de la red GPON [6]-[7].

Esquema físico de la red— Se ha decidido dividir a todo el sector para el diseño en 6 zonas en las que se considera habrá diferente nivel de demanda de servicios. La topología física que seguirá la planta externa y la ubicación tentativa de los equipos pasivos, se describe a continuación:

- El punto central de interconexión será el OLT.
- Cada zona será abastecida por uno o varios *splitters* primarios. Posiblemente la zona naranja requiera más de uno, ya que en ésta zona se prevé construir el data center del aeropuerto que proveerá servicios a la mayoría de operadores comerciales. Dichos *splitters* primarios se ubicarán en lugares estratégicos de cada zona, posiblemente donde se concentre la mayor cantidad de usuarios.
- El OLT alimentará a cada *splitter* primario de las zonas. Entregará sus hilos a un único *backbone* de fibra que recorrerá todo el sector del diseño. De dicho *backbone* se realizará la distribución para *splitters* primarios por medio de mangas de empalme o cajas de distribución instaladas en las diferentes zonas.
- Cada *splitter* primario, a su vez, entregará sus hilos a distintos *splitters* secundarios. Y a partir de cada *splitter* secundario se establecerán los enlaces con los ONTs.
- El *backbone* de fibra óptica se lo podrá implementar tanto de modo aéreo a través de postes en las vías de acceso o por modo subterráneo a través de canalizado y ductería.

La figura 8 muestra el esquema de la red, el anillo sigue la trayectoria de las vías y caminos del sector. Los puntos marcados de color rojo podrían ser posiblemente donde sean ubicadas las mangas de empalme.

Según los datos obtenidos, se calcula que el sector tendrá un crecimiento demográfico del 24,288 % desde el año 2010 al 2015. La construcción del Nuevo Aeropuerto de Quito afectará sustancialmente el incremento tanto de habitantes como de usuarios.

Inicialmente se planea un traslado de los 205 operadores comerciales que actualmente están en el aeropuerto Mariscal Sucre. De ellos, un 30% no utilizarán servicios de Internet o no estarán interesados en obtener un acceso con tecnología GPON, dejando 143 operadores como potenciales clientes. Pese a esto, las necesidades propias del sector llevarían a desarrollar nuevos espacios comerciales en los alrededores del aeropuerto (zonas roja y lila), lo que lleva a pensar que en los cinco años siguientes se llegará a copar la capacidad ofrecida para los 205 operadores y además un 20% adicional fuera del mismo (41), debido a la creación de otras dependencias en espacios aledaños, por ejemplo, el mini centro comercial y el hotel.

Según estos datos la cantidad de usuarios estaría dividida de la siguiente manera:

TABLA IV
DIMENSIONAMIENTO DE USUARIOS EN EL SECTOR DEL NUEVO AEROPUERTO [*]

Dimensionamiento de Usuarios del Sector			
Sub-Zona 4 "Aeropuerto"	Usuarios por Año		Tipo de cliente mayoritario
	Año 2010	Año 2015	
Terminal Aérea (Zonas 2 y 3)	143	205	Corporativo
Zonas de Desarrollo (Zonas 1 y 4)	0	41	PYMES
Sectores aledaños (Zonas 5 y 6)	7	13	Residencial
Total	150	259	



Fig. 8. Trayecto de fibra óptica, distancias y ubicación de equipos [*].

Tipo de fibra óptica— Debido a las distancias, se escogió fibra óptica de tipo monomodo que cumpla con el estándar G.652.D, ya que permite trabajar en un rango de 1310 a 1625 nm.

Interconexión de la red GPON— El equipo OLT debe ser capaz de interconectarse con las redes IP-MPLS o SDH, ya que actualmente son las redes más utilizadas a nivel WAN. Para soportar los servicios de vídeo es necesario realizar una conversión electro-óptica y amplificar la señal de vídeo RF a niveles ópticos funcionales en la ventana de los 1550 nm. También es necesario implementar un equipo que permita combinar las longitudes de onda mediante la técnica WDM, y de esta manera se distribuya una sola señal a nivel de acceso para su entrega al usuario final. La figura 9 muestra un diagrama de interconexión general de la red.

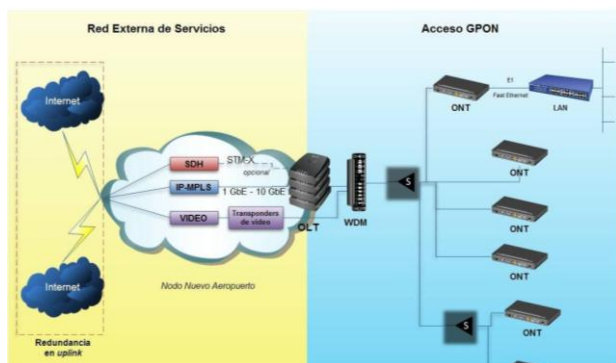


Figura 9. Interconexión general GPON [*].

Número de puertos GPON— G.983.1 especifica un máximo total de 64 ONTs por puerto GPON del OLT. La tabla 5 especifica la cantidad de puertos GPON por cada zona. Nótese que cada 64 usuarios, se incorpora una conexión GPON.

TABLA V
CONEXIONES GPON POR SECTOR [*]

Dimensionamiento de Conexiones GPON				
Zona	Año 2010		Año 2015	
	# usuarios	# puertos	# usuarios	# puertos
Terminal Aérea (Zonas 2 y 3)	143	3	205	4
Zonas de Desarrollo (Zonas 1 y 4)	0	0	41	1
Sectores aledaños (Zonas 5 y 6)	7	1	13	1
Total	150	4	259	6

Especificaciones técnicas mínimas a cumplir para los equipos—

TABLA VI
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MÍNIMAS REQUERIDAS [*]

Especificaciones	OLT	ONT
Características Generales	<ul style="list-style-type: none"> • Soporte de Estándar ITU-T G.984 1-4 • Modular/Chasis • 1 puerto GPON 	<ul style="list-style-type: none"> • Soporte de Estándar ITU-T G.984 1-4 • Indoor • 1 puerto GPON

	<ul style="list-style-type: none"> • 2 puertos Gigabit Ethernet • 1 ó 2 puertos STM-1 (opcional) • Calidad de Servicio (QoS) • Administrable remotamente y localmente 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 puerto 10/100 Base-T (RJ-45) • 1 salida RF (Coaxial) • 1 puerto RJ-11 o 1 puerto E1 • Calidad de Servicio (QoS) • Administrable remotamente y localmente
Características Funcionales	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de Proveer Servicios de CATV en la ventana de 1550 nm. • Capacidad de transmisión en las ventanas de 1310 nm y 1490 nm • Velocidades de Transmisión en Downstream de 2,4 Gbps y en Upstream de 1,2 Gbps • Soporte del Estándar SFP (Small Form Factor Pluggable). • Interfaces ópticas deben trabajar con fibra óptica monomodo G.652.D • Hot Swap 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de trabajar en las ventanas de 1550 nm, 1490 nm y 1310 nm • Velocidades de Transmisión en Downstream de 2,4 Gbps y en Upstream de 1,2 Gbps • Soporte del Estándar SFP (Small Form Factor Pluggable). • Interfaces ópticas deben trabajar con fibra óptica monomodo G.652.D
Características Eléctricas	110 Vac@60 Hz / 48 VDC con energía DC local	
Estándares IEEE	<ul style="list-style-type: none"> • 802.3u / 802.3 ab • 802.3z • 802.3ad • 802.1p • 802.1q • 802.1d/1w STP/RSTP 	<ul style="list-style-type: none"> • 802.3u • 802.1p
Protocolos y Aplicaciones soportadas	<ul style="list-style-type: none"> • Administración local y remota con el protocolo SNMP. • Protocolo IGMP v2 	
Garantías	Mínimo de 3 años Reparación, mantenimiento o sustitución del equipo en caso de fallas o daño: 48 horas y sin costo adicional	Mínima de 1 año Reparación, mantenimiento o sustitución del equipo en caso de fallas o daño: 48 horas y sin costo adicional.

Equipos GPON escogidos— Según las especificaciones técnicas de la tabla 6, se han escogido los equipos: Huawei OLT MA5600T y Huawei HG863 Bridge Series ONT, debido a que son los equipos que mayoritariamente cumplen con las especificaciones requeridas, además de ser los más económicos frente a las otras marcas. Adicionalmente, la empresa Huawei ofrece:

- Asistencia técnica completa
- Responsabilidad de los trámites de importación y nacionalización de los equipos
- Sustitución temporal de partes en caso de fallas
- Sistema completo de administración centralizado de la red GPON
- Stack de servidores.
- Responsabilidad de las licencias de GPON tanto para OLT como ONTs.

HUAWEI OLT MA5600T

Precio: \$ 19.981,81 (no incluye impuestos)



- Máximo 4 puertos GPON de 64 usuarios, soportando 4096 ONT
- Puertos de administración: 1 Outband Ethernet 10Base-Tx/100Base-Tx y un puerto de consola
- Puertos Upstream E1, 10GE opt.
- Soporte de Vlan, Multicast, ARP, QoS, Mac Address, control del flujo, Seguridad y Administración.

- Velocidades downstream y upstream arriba de los 2.4 Gbit/s y 1.2 Gbit/s respectivamente.
- Soporta un alcance físico arriba de los 20 Km y lógico de 60 Km.

Fig. 10. Huawei OLT MA5600T [11].

HUAWEI ONT HG865

Precio: \$ 217,30 (no incluye impuestos)



- Estándar Técnico: soporte del estándar ITU-T G.984
- Soporte de servicios triple play
- Múltiples interfaces

- Tasas de Transferencia: Download máxima de 2.488 Gbit/s, Upload máxima de 1.244 Gbit/s.
- Interfaces Externos: WAN: una interfaz de GPON, LAN: 3 interfaces Ethernet 10/100 Base-T (RJ-45) , 1GE: 1000 Base-T (RJ-45), Dos interfaces de VoIP (RJ-11), y RF: Salida de video
- Especificaciones adicionales: Soporta la gestión remota

Fig. 11. Huawei ONT HG865 [11].

Cálculo del balance de potencias para los equipos seleccionado. Caso crítico— El balance de potencias permite conocer si los equipos van a soportar la señal que se transmite en el sistema, evitando daños en los mismos o sobrecarga de la potencia.

Los cálculos realizados a continuación, permiten de forma orientativa conocer el balance de potencias del sistema del presente diseño y comprobar que los equipos seleccionados son los óptimos para realizar el enlace óptico.

Para el cálculo del balance óptico se tendrá que cumplir con la siguiente inecuación:

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha_{TOTAL} \quad (1)$$

Donde,

P_{RX} : Potencia mínima de sensibilidad de recepción del equipo.

P_{TX} : Potencia máxima del transmisor óptico.

α_{TOTAL} : Valor total de pérdidas.

Con los valores obtenidos en el análisis de pérdidas y los valores de potencia especificados en el ITU-T G.984.2 Class B+, se procede a realizar el cálculo antes mencionado.

- Usuario más lejano (critico):

a) Ventana de 1310 nm:

$$\begin{aligned} P_{RX} &\leq P_{TX} - \alpha_{TOTAL} \\ -28 \text{ dBm} &\leq 5 \text{ dBm} - 30,18 \text{ dB} \\ -28 \text{ dBm} &\leq -25,18 \text{ dBm} \end{aligned}$$

a) Ventana de 1550 nm:

$$\begin{aligned} P_{RX} &\leq P_{TX} - \alpha_{TOTAL} \\ -28 \text{ dBm} &\leq 5 \text{ dBm} - 29,41 \text{ dB} \\ -28 \text{ dBm} &\leq -24,41 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Como se puede observar, en ninguno de los casos contemplados para el sistema del presente diseño se sobrepasa los valores que establece la inecuación, ni los valores del rango de sensibilidad dados por el fabricante del equipo, que a su vez están acordes con la recomendación ITU-T G.984.2 Class B+, como se muestra en la figura 12.

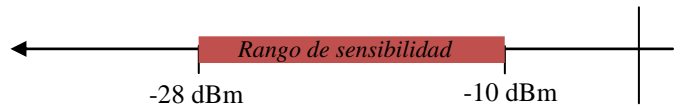


Fig. 12. Rango de sensibilidad de potencia de los equipos Huawei [11].

Se ha considerado el caso más crítico, en el que para el usuario más cercano (Zona 1) no se llegue a realizar un nivel de *splitteo* aceptable. Para este caso, si por ejemplo solo se tuviese que implementar 3 *splitters* secundarios o menos, no se llegaría a cumplir con el rango de sensibilidad de potencia especificado por el fabricante (se obtiene un valor mayor a -10 dBm), consecuentemente el equipo llegaría a dañarse.

V. ANÁLISIS ECONÓMICO

Presupuesto del proyecto— Las inversiones en la mayoría de los proyectos se lleva a cabo en la etapa de instalación o ejecución del proyecto, donde se analizan las inversiones fijas, diferidas, entre otras, las cuales nos dan el capital que se requiere para el funcionamiento normal del proyecto, además ayudarán a cumplir los objetivos trazados por la empresa en la etapa de operación del servicio donde a lo largo de los periodos se generan los costos de operación y a la vez los ingresos, los mismos que se obtienen de la venta del servicio.

Inversiones fijas— Las inversiones fijas son aquellas que se realizan en bienes tangibles, que se utilizan para garantizar la operación del proyecto y los cuales no son objeto de comercialización y que se adquieren para utilizarse en su vida útil. La tabla 7 señala las inversiones fijas para el presente proyecto.

TABLA VII
INVERSIONES FIJAS [9]-[10].

Inversiones Fijas			
Detalle	Cantidad	Precio Unitario	Total
Optical Line Terminal (OLT)	1	\$ 19.981,81	\$ 19.981,81
Optical Network Terminal (ONT)	200	\$ 217,30	\$ 43.460,00
Hardware del Servidor	1	\$ 10.632,31	\$ 10.632,31

Red Pasiva			\$ 101.154,46
Software	1	\$ 19.442,30	\$ 19.442,30
Total de activos Fijos			\$ 194.670,88

Inversiones diferidas— Son aquellas que se realizan sobre la compra de servicios o derechos que son necesarios para la puesta en marcha del proyecto. Las inversiones diferidas consideradas para el presente proyecto se las indica en la tabla 8.

TABLA VIII
INVERSIONES DIFERIDAS [9].

Inversiones Diferidas	
Activos diferidos	Valor
Gastos de permisos de funcionamiento	\$ 2.068,00
Gastos de configuración de equipos	\$ 9.613,07
Gastos de Prueba de la red pasiva	\$ 10.681,19
Total	\$ 22.362,26

Total de la inversión inicial:

TABLA IX
TOTAL DE LA INVERSIÓN INICIAL [*]

Inversiones	Valor
Fijas	\$ 194.670,88
Diferidas	\$ 22.362,26
Total de la Inversión	\$ 217.033,14

Gastos de operación del proyecto— Aquí se incluyen todos los egresos realizados durante los 5 años de operación del presente proyecto. Los tipos de gastos identificados son los siguientes:

- Gastos operativos

TABLA X
GASTOS OPERATIVOS [*]

*GASTOS OPERATIVOS		
AÑOS	2010	2011 - 2015
Salida Internet	\$ 240.000,00	\$ 960.000,00
Energía Eléctrica	\$ 900,00	\$ 3.600,00
Mantenimiento de la red	\$ 2.528,86	\$ 10.115,45
TOTAL	\$ 243.428,86	\$ 973.715,45

* Se ha llenado con valores constantes para todos los años, a excepción del 2010, en donde se ha prorrateado los valores para tres meses de operación.

- Gastos administrativos

TABLA XI
GASTOS ADMINISTRATIVOS [*]

*GASTOS ADMINISTRATIVOS		
AÑO	2010	2011 - 2015
Personal de Instalación y Mantenimiento	\$ 4.415,36	\$ 13.246,08
Personal de Monitoreo de Red	\$ 2.054,70	\$ 8.218,80

Soporte Técnico	\$ 1.017,46	\$ 4.069,82
TOTAL	\$ 7.487,52	\$ 25.534,70

* Indica el total de gastos administrativos por año. Cabe recalcar que en el año 2010 se ha tomado solo los gastos de sueldos de 3 meses para el personal de monitoreo de la red y soporte, y para el personal de instalación y mantenimiento, 4 meses, ya que éstos deben realizar la instalación de los equipos de los usuarios.

- Gastos ventas

TABLA XII
GASTOS DE VENTAS [11]

*GASTOS DE VENTAS POR AÑO	
Publicidad, Marketing, Conferencias, Honorarios	\$ 24.000,00

*Son aquellos desembolsos realizados por efecto de comercialización de los servicios ofrecidos por la red. Según un sondeo realizado al área comercial de un ISP en Quito, se estiman valores mensuales aproximados de \$ 2000, que incluyen gasto en publicidad para el sector del nuevo aeropuerto, conferencias realizadas en las empresas del sector, honorarios de los conferencistas, gastos logísticos, etc.

- Otros Gastos

TABLA XIII
OTROS GASTOS [13]

*OTROS GASTOS		
Año	Sólo 2010	2011-2015
Servicios Básicos (Teléfono)	\$ 600,00	\$ 2.400,00

*Aquí se contemplan todos aquellos gastos que benefician al proyecto indirectamente, en este caso es el servicio de teléfono para la persona encargada de dar el soporte a los clientes mediante un *call-center*. El valor estimado de alquiler del servicio telefónico es de \$ 200.

Ingresos del proyecto— Para obtener los ingresos del proyecto se ha tomado dos casos uno óptimo (en el que exista un crecimiento elevado hasta el 2015) y uno crítico (exista un crecimiento moderado o nulo hasta el 2015), en los cuales se han estimado ventas de paquetes de servicio de acuerdo a la demanda existente en el sector; tomando en cuenta el enfoque del proyecto el sector corporativo. A continuación se presenta el resumen de los paquetes que se ofrece (tabla 14).

TABLA XIV
PLANES TRIPLE PLAY [*]

PLANES TRIPLE PLAY				
Tipo	Up Stream	Down Stream	Compar-tición	Precio
Home	512 Kbps	1 Mbps	8 a 1	\$ 37,09
PYMES	2 Mbps	2 Mbps	4 a 1	\$ 148,35
Corporativo	4 Mbps	4 Mbps	2 a 1	\$ 593,40
Premium	8 Mbps	8 Mbps	2 a 1	\$ 1.186,80

Evaluación financiera— Para determinar si el presente proyecto es viable o no, se ha tomado en cuenta algunos indicadores matemáticos que permiten realizar una evaluación financiera, entre ellos: VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y PRI (Período de Recuperación de la Inversión). Además de la TMAR (Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento). Todo lo anterior, considerando el caso óptimo de ventas.

TABLA XV
TMAR [12]-[13]

Tasa de inflación*	Premio al riesgo*	TMAR
4,44%	8,17%	12,61%

TABLA XVI
VAN Y TIR CASO ÓPTIMO [*]

VAN	\$ 2.912.504,00
TIR	51%

Se concluye que: Dado que el valor del VAN es positivo, el proyecto se considera viable. Se considera una inversión segura y sí se puede inyectar capital en el proyecto, debido a que los flujos proyectados generan una rentabilidad superior a la exigida por la TMAR (12,61%). Y por otro lado, dado que el valor del TIR es mayor a la TMAR, el proyecto por sí mismo es rentable, ya que genera una ganancia financiera del 51%.

A. Período de recuperación de la inversión.

La figura 10 muestra gráficamente el flujo de fondos para cada año. De acuerdo a dichos resultados se ha calculado el período de recuperación de la inversión:

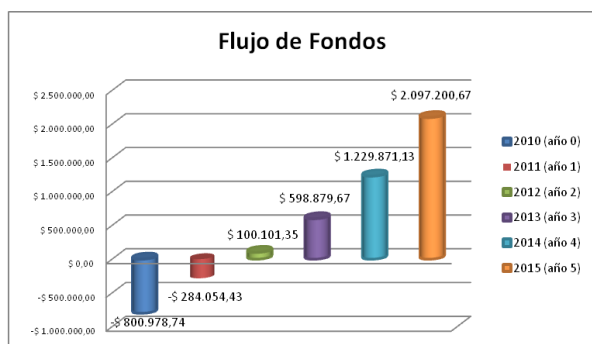


Fig. 12. Flujo de fondos caso óptimo [*]

Por lo tanto el PRI para el presente proyecto es de 3 años con 4 meses. La tabla 17 resume los flujos de fondos normales y acumulados y el PRI:

TABLA XVII
PRI [*]

PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN						
Año	año 0	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
Flujo de fondos	-\$ 800.978,74	-\$ 284.054,43	\$ 100.101,35	\$ 598.879,67	\$ 1.229.871,13	\$ 2.097.200,67
Flujo de fondos acum.		-\$ 1.085.033,17	-\$ 984.931,83	-\$ 386.052,16	\$ 843.818,98	\$ 2.941.019,65
PRI	3 años, 4 meses					

B. Análisis de Sensibilidad

Para el presente análisis se ha calculado el VAN y el TIR frente a la sensibilidad de los precios de los planes, con el fin de determinar hasta qué punto el proyecto puede reducir sus precios sin dejar de ser rentable. A continuación se

presenta una tabla en la que se varían los precios en porcentaje partiendo desde el 100%.

TABLA XVIII
SENSIBILIDAD EN FUNCIÓN DE LOS PRECIOS DE LOS PLANES EN EL CASO ÓPTIMO [*]

SENSIBILIDAD CON LOS PRECIOS DE LOS PLANES		
Precios de los Planes	VAN	TIR
100,00%	\$ 2.912.504,00	59,94%
95,54%	\$ 2.627.483,94	47,73%
91,09%	\$ 2.343.102,95	44,46%
86,63%	\$ 2.058.082,89	41,10%
82,18%	\$ 1.773.701,90	37,65%
77,72%	\$ 1.165.344,69	24,47%
73,26%	\$ 1.203.661,79	30,37%
68,81%	\$ 919.280,79	26,52%
64,35%	\$ 634.260,73	22,47%
59,90%	\$ 349.879,74	18,22%
55,44%	\$ 64.859,68	13,69%
54,425074370%	\$ 0,00	12,61%
50,98%	-\$ 220.160,37	8,82%
46,53%	-\$ 504.541,37	3,53%
42,07%	-\$ 789.561,43	-2,35%

El análisis de sensibilidad de la tabla 18 refleja que el proyecto puede absorber una disminución de los precios de casi el 45%, es decir hasta un 45,57492563% y aun así alcanzar la rentabilidad propuesta por la TMAR (12,61%). Si fuere éste el caso, el proveedor del servicio no ganaría lo esperado, sólo garantizaría el 12,61% propuesto por la TMAR, asegurando una ganancia mínima.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [*] Gráficos y tablas elaborados bajo criterio de los autores.
- [1] Cisco Systems Inc. "CCNA Exploration 4.0 Curriculum".
Módulo 1: "Fundamentos de Redes".
Módulo 3: "Conmutación y Conexión Inalámbrica de LAN".
- [2] Logroño López, Jorge Israel. "Integración de las redes ópticas pasivas ethernet (EPON/GPON) con la tecnología Wimax". Septiembre 2008.
- [3] Diana Patricia Pabón Taco. "Diseño de una red de acceso G-PON para proveer servicios triple play (TV, Internet, Telefonía) en el sector de "La Carolina" a través de la red del grupo TV Cable". Enero 2009.
- [4] "FTTx Solution White Paper"
http://www.telecomasia.net/pdf/ZTE/ZTE_091709.pdf
- [5] Ungerman, Josef. "FFTH. Fibre to The Home". Cisco Systems Inc. Publications.
- [6] ITU-T/G.984.1 "Gigabit-Capable Passive Optical Networks (GPON): General Characteristics".
ITU-T/G.984.2 "Gigabit-Capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification".
ITU-T/G.984.3 "Gigabit-Capable Passive Optical Networks (GPON): Transmission Convergence Layer Specification".
ITU-T/G.652 "Características de los medios de transmisión – Cables de fibra óptica".
- [7] Entrevista con el Ingeniero Juan Carlos Andrade, Jefe de Tecnología. ADC&HAS Management Ecuador S.A.
- [8] Entrevista con el Ingeniero Gustavo Núñez, departamento de Soporte Comercial de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones.
- [9] Documentación técnica entregada por las empresas Huawei Co. Ltd. y Alcatel-Lucent Co. Ltd.
- [10] Entrevista con el Ingeniero Alejandro Estrada, Director de Proyectos de Fibra Óptica. Netrix Cía. Ltda.
- [11] Bravo, Mercedes. "Contabilidad general cuarta edición". Quito, Ecuador. 2001. México. 2007.
- [12] Baca, Urbina Daniel. "Fundamentos de Ingeniería Económica". 4ta edición. Mc. Graw Hill.
- [13] Sapag Chain, Nassir, "Evaluación de proyectos de inversión en las empresas". 1ra edición. Mc. Graw Hill. Buenos Aires, Argentina. 2001.

Referencias Adicionales:

- [14] Jiménez, María Soledad MSc. "Comunicaciones Ópticas" Capítulo 1, Capítulo 2, Capítulo 3.
- [15] Jiménez, María Soledad MSc. "Teoría de Comunicaciones". Capítulo 2, Capítulo 3, Capítulo 4, Capítulo 7.
- [16] Martín Pereda, José. "Sistemas y Redes Ópticas de Comunicaciones". Pearson – Prentice Hall 2004. Capítulo 2, Capítulo 6.
- [17] Tomasi, Wayne. "Sistema de Comunicaciones Electrónicas". Segunda Edición. 1994. Capítulo 20.
- [18] Hidalgo, Pablo. Ing. "Redes de Área Extendida". Septiembre 2008. Capítulo 5.
- [19] Entrevista con el Ingeniero Alex Moreno Galindo, jefe comercial. Quiport.

VII. BIOGRAFÍAS



Ramiro Cevallos Rojas, nació en Quito el 11 de noviembre de 1985. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Municipal "Sebastián de Benalcázar" y los finalizó en el año 2003. En el mismo año ingresó a la Escuela Politécnica Nacional y en el año 2010 obtuvo su título de Ingeniero en Electrónica y Redes de Información. Actualmente desempeña el cargo de Analista Senior en el área de Tecnología de PRODUBANCO S.A.

Áreas de interés: Redes, Informática, Telecomunicaciones y Administración de Tecnologías.
(cevallosr@produbanco.com)



Richard Montalvo Espinosa, nació en Quito el 19 de agosto de 1985. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Experimental "Juan Pío Montúfar" y los finalizó en el año 2003. En el mismo año ingresó a la Escuela Politécnica Nacional y en el año 2010 obtuvo su título de Ingeniero en Electrónica y Redes de Información. Actualmente desempeña el cargo de Analista de Proyectos en el área de Internet,

Datos y TV Pichincha de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones S.A.

Áreas de interés: Telecomunicaciones, Redes, Informática, y Telefonía.

(richard.montalvo@cnt.gob.ec)



Mónica Vinueza Rhor, Ingeniero en Informática, mención Redes de Información, Escuela Politécnica Nacional. Estudió sobre Interfaces Paralelas, Red Novell, Cégep de Baie-Comeau, Canadá. 1994. Actualmente trabaja como Profesor Principal a tiempo completo en el Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información en la EPN.

Áreas de interés: Telecomunicaciones, Microcontroladores, Informática y Redes.

(monica.vinueza@epn.edu.ec)