

ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL Y FUTURA DE ACCESO A BANDA ANCHA EN EL CANTÓN ANTONIO ANTE Y PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA RED ÓPTICA PASIVA (PON) PARA LA EMPRESA CNT E.P. COMO SOLUCIÓN A FUTURAS DEMANDAS

Bolaños Erazo Henry David
Universidad Técnica del Norte
hdbolanios@utn.edu.ec

Resumen— *El presente trabajo tiene como finalidad efectuar un análisis de la demanda actual y futura de acceso a banda ancha en el cantón Antonio Ante y realizar un diseño de una red óptica pasiva que logre satisfacer los requerimientos y exigencias de usuarios futuros en el sector.*

Se procede a realizar un análisis de la demanda actual y futura de acceso a banda ancha en todas las parroquias urbanas y rurales del cantón Antonio Ante, el análisis de la situación actual se lo realiza empleado el proceso determinado como muestreo mediante encuestas en todas las parroquias del cantón Antonio Ante. Para poder estimar la demanda futura de acceso a banda ancha, se utilizan parámetros como el crecimiento poblacional con respecto a los servicios de telecomunicaciones y la estimación de la población insatisfecha respecto al servicio que cada abonado posee.

Posteriormente se realiza un diseño de red GPON tomando en cuenta los resultados y requerimientos establecidos mediante las encuestas y el análisis de la demanda actual y futura, por último, se realiza un análisis financiero para determinar la viabilidad económica del trabajo utilizando los indicadores de rentabilidad como el VAN, la TIR y el PRI

Términos para la indexación — FTTx, GPON, ITU-T G984, FEEDER, ODN, OLT, ONT, SPLITTER, FDH, NAP.

I. FUNDAMENTO TEÓRICO

A. Conceptos Generales Sobre Fibra Óptica

La fibra óptica se refiere a la tecnología asociada a la transmisión de información con pulsos de luz a lo largo de un alambre fibra de vidrio o de plástico. Tecnología desarrollada en la década de 1960 que está reemplazando rápidamente los cables de cobre en las telecomunicaciones.

La fibra óptica es el medio de transmisión cableado con mayor capacidad en la actualidad. Su aparición y utilización ha dado lugar al surgimiento de nuevos sistemas de comunicaciones que interconectan el mundo entero.

a. Estructura de la Fibra Óptica.

Son conductos rígidos o flexibles, con las dimensiones aproximadas a las de un cabello humano, construidas a partir de plástico o vidrio, capaces de conducir luz entre sus extremos. Se las puede considerar como guías de onda que trabajan a frecuencias ópticas. La estructura básica de una fibra óptica consta de tres partes; el núcleo, el revestimiento, y el recubrimiento. La estructura básica de una fibra óptica se muestra en la Figura 1.

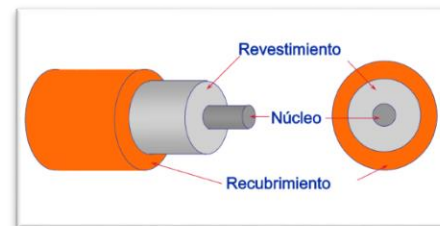


Fig. 1. Estructura de la Fibra Óptica

b. Ventajas y Desventajas de la F.O.

Las principales ventajas de la fibra óptica con respecto al cable coaxial son:

- ✓ Tiene un tiempo de vida útil mucho mayor que el cobre.
- ✓ Las comunicaciones con fibra óptica pueden alcanzar velocidades de transmisión muy y a largas distancias.
- ✓ La atenuación no depende de la velocidad de transmisión, sino únicamente de la distancia.
- ✓ La transmisión de información es más segura que usando cable coaxial porque es muy difícil colocar un dispositivo de escucha en la línea de transmisión, proporcionando una mejor seguridad de la red física.
- ✓ Permite ofertar un mayor ancho de banda y por lo tanto una mayor capacidad a cada usuario individual.
- ✓ Son más livianas que el cobre.
- ✓ A un largo plazo el costo de la fibra óptica será mucho menor al de la actualidad.
- ✓ Pérdida de señal baja, típicamente menos de 0,3 dB/km, por lo que la transmisión utilizando un repetidor a través de largas distancias es posible.
- ✓ Inmunidad a la interferencia electromagnética, incluyendo pulsos electromagnéticos nucleares.
- ✓ No hay radiación electromagnética en los sistemas de comunicación con fibra óptica.

- ✓ Alta resistencia eléctrica, por lo que es seguro trabajar cerca de equipos de alta tensión.
- ✓ Señales contienen muy poca energía
- ✓ No existe diafonía entre los cables de fibra óptica.

Las desventajas de la Fibra Óptica son las siguientes:

- ✓ Mayor dificultad en el mantenimiento del sistema.
- ✓ Las fibras ópticas son muy frágiles, cualquier movimiento violento puede causar la ruptura de la fibra y esto implicaría costos elevados en la reparación.
- ✓ Alto costo de inversión en los equipos y sistemas ópticos.
- ✓ Necesidad de transmisores y receptores ópticos más caros.
- ✓ El empalme de cables es complicado.
- ✓ En potencias ópticas altas, es susceptible de "fusión de fibra" en el que un poco demasiado encuentro de luz con una imperfección puede destruir hasta 1,5 kilómetros de alambre a varios metros por segundo.

c. Tipos de Fibra Óptica.

De acuerdo a la cantidad de modos o haces de luz que puede transportar, la fibra óptica se clasifica en dos tipos:

Fibra Óptica Monomodo: La fibra de monomodo permite una mayor capacidad para transmitir información porque puede retener la fidelidad de cada pulso de luz a grandes distancias sin la dispersión causada por los múltiples modos. Además, la fibra de monomodo presenta menor atenuación de la fibra que la multimodo, por tanto, se puede transmitir más información en menos tiempo

Fibra Óptica Multimodo Índice Escalonado: Son fibras ópticas en las que el índice de refracción del núcleo es constante, por tanto, la velocidad de propagación es la misma para todos los modos, por lo que al cubrir diferentes trayectorias los modos llegarán en tiempos distintos, produciendo un retardo que ensancha el pulso de luz.

Fibra Óptica Multimodo Índice Gradual: en este tipo de fibra óptica, el núcleo está constituido de varias capas concéntricas de material óptico con diferentes índices de refracción, causando que el rayo de luz de refracte poco a poco mientras viaja por el núcleo, pareciendo que el rayo se curva

d. Pérdidas en la Fibra Óptica.

Existen varios tipos de pérdidas en la fibra óptica, los más principales son las pérdidas por:

- ✓ Absorción por rayos ultravioletas e infrarrojos
- ✓ Absorción debido a impurezas.
- ✓ Dispersión de Rayleigh
- ✓ Macro curvaturas
- ✓ Micro curvaturas

e. Ventanas de Transmisión de la F.O.

Las comunicaciones ópticas tienen lugar en ciertas zonas del espectro óptico, en donde se presentan condiciones favorables para que éstas se lleven a cabo, como por ejemplo una menor atenuación. A estas zonas se las denomina ventanas y son cinco, las cuales se presentan a continuación:

- ✓ Primera ventana: longitud de onda = 850 nm
- ✓ Segunda ventana: longitud de onda = 1310 nm
- ✓ Tercera ventana: longitud de onda = 1550 nm
- ✓ Cuarta ventana: longitud de onda = 1625 nm
- ✓ Quinta ventana: longitud de onda = 1470 nm

En la Figura 2 se puede apreciar las ventanas del espectro óptico.

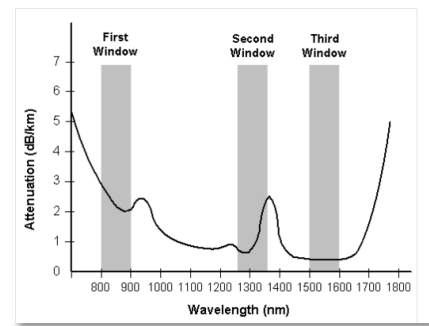


Fig. 2. Ventanas del Espectro Óptico

B. Redes y Tecnologías de Acceso

Las redes de acceso conectan los usuarios finales con el proveedor de servicios. En la actualidad, dada la necesidad de ancho de banda que tienen los clientes, la gran mayoría de redes de acceso utilizan fibra óptica como medio de transmisión.

Se tiene los principales componentes de una red de acceso:

- ✓ El medio físico de transmisión: Que puede ser: par trenzado, cable coaxial, fibra óptica, o el aire.
- ✓ Elementos de telecomunicaciones: Tales como antenas, equipos de acceso óptico, equipos de acceso DSL (línea de abonado digital), equipos MSAN (nodo de acceso multiservicio).
- ✓ Dispositivos de interconexión: Conectores de par trenzado, empalmes de fibra óptica, cajas de distribución, etc.

a. Tecnologías Cableadas

Existen varias tecnologías que utilizan medios cableados para la transmisión de información, entre las que se pueden mencionar las siguientes: *HFC, FTTx, PON, EFM*.

C. Redes XPON

Las redes PON reemplazan a todos los equipos activos que pueden existir entre el servidor y el usuario final, con componentes pasivos los mismos que guían el tráfico a lo largo de toda la red. Una red PON es una red de fibra que sólo utiliza componentes pasivos como divisores en lugar de componentes activos como amplificadores.

Estas redes cuestan mucho menos que los que utilizan componentes activos. La desventaja principal es un rango más corto de la cobertura limitada por la potencia de la señal. Mientras que una AON puede cubrir un rango de alrededor de 100 kilómetros, una red PON se limita típicamente a los tendidos de cable de fibra de hasta 20 Km

a. APON

APON (Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network), la define el estándar UIT-T G.983. Utiliza ATM para la señalización en la capa enlace de datos. Para el canal descendente se utilizan celdas ATM con un tamaño de 53 bytes, a una velocidad de 622 Mbps, la cual se reparte entre todas las ONT conectadas. Por su parte, en el canal ascendente se emplean máximo 54 celdas ATM a una velocidad de 155,5 Mbps.

b. BPON

BPON (Broadband Passive Optical Network), Está especificada en las revisiones del estándar UIT-T G.983. Surgió como una mejora frente a las APON, utiliza WDM

lo que le permite tener un mayor ancho de banda y poder acceder a mayores servicios como por ejemplo Ethernet.

c. GPON

GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network), está estandarizado en varias de las recomendaciones UIT-T G.984. Fue la primera red PON que permitió tener velocidades superiores 1 Gbps. En el canal ascendente se transmite a 1.244 Gbps mientras que para el canal descendente la transmisión se realiza a 2.488 Gbps.

d. EPON

EPON (Ethernet Passive Optical Network), está definida en las recomendaciones IEEE 802.3ah. Básicamente encapsula el tráfico en tramas Ethernet. EPON 802.3ah especifica una red pasiva similar con un alcance de hasta 20 km. Utiliza WDM con las mismas frecuencias ópticas como GPON y TDMA. La velocidad de transmisión es simétrica y es de 1.25 Gbps.

D. Redes GPON

Definido como una innovación del conjunto de estándares PON, la Red Óptica Pasiva con capacidad de Gigabit, GPON, es miembro de esta familia desde el 2004 con la creación de las recomendaciones UIT-T G.984. X

a. Recomendaciones UIT-T G.984.X

Debido a la necesidad de brindar al usuario mejores costos, competitividad y diversidad de marcas, se han propuesto un conjunto de recomendaciones que regulan las diferentes características de los equipos desarrollados para el soporte del estándar GPON, a continuación, se presentan las cinco recomendaciones aprobadas en la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT en la serie G: (Sistemas y Medios De Transmisión, Sistemas y Redes Digitales):

- ✓ UIT-T G.984.1: Características Generales
- ✓ UIT-T G.984.2: Especificación De La Capa Dependiente De Los Medios
- ✓ UIT-T G.984.3: Especificación De La Capa De Convergencia De Transmisión
- ✓ UIT-T G.984.4: Especificación De La Interfaz De Control Y Gestión De La Terminación De Red Óptica
- ✓ UIT-T G.984.5: Banda De Ampliación

b. Arquitectura Red GPON

Partiendo desde la oficina central se conecta por medio de una fibra Monomodo hacia un Splitter cercano a los usuarios finales. Es en este punto es donde se realiza la división de la fibra en N rutas a los suscriptores. En la Figura 3 se observa la arquitectura de red GPON.

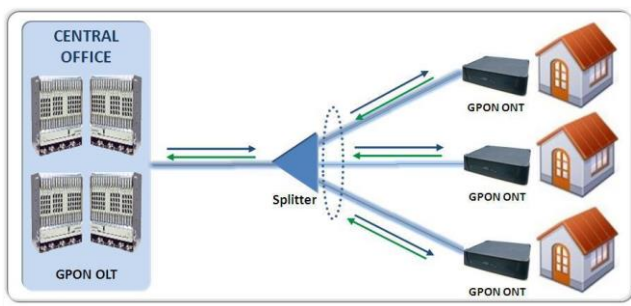


Fig. 3. Arquitectura Red GPON

Las longitudes de onda están relacionadas con el Upstream y el Downstream 1310 nm y 1490 nm respectivamente, para video RF 1550 nm. El número de rutas o caminos puede variar desde 2 hasta 64 desde el Splitter de modo único hasta cada usuario, donde la transmisión de Fibra desde la oficina central hasta cada usuario puede ser de hasta 20 Km.

Trama Downstream: El funcionamiento consiste en que la OLT envía el tráfico utilizando Broadcast donde cada ONT verifica la dirección en el encabezado de las tramas, debido a que las ONTs reciben todo el tráfico, es necesario hacer la utilización de encriptación. La OLT determina y le notifica a las ONTs los Time Slots para el envío de los datos.

Trama Upstream: El funcionamiento de la Red GPON Upstream toma el tráfico del puerto de usuario y lo mapea en tramas GEM. La forma de realizar la transmisión de los datos es utilizando TDMA por medio de Time Slots asignados por la OLT.

c. Elementos Red GPON

La red de acceso GPON está dividida principalmente en tres partes, el OLT, el cual está interconectado por una ODN a un nodo o un ONT. Una red de acceso óptica pasiva GPON está formada básicamente por:

Equipo Terminal de Línea Óptica (OLT): La OLT es un elemento activo del cual parten las redes de fibra óptica hacia los usuarios, los OLT tienen una capacidad para dar servicio a miles de consumidores conectados al servicio que se desea prestar. Este elemento de la red GPON está ubicado en las dependencias del operador, y consta de varios puertos de línea GPON, cada uno soportando hasta 64 ONT. Aunque depende del suministrador, existen sistemas que pueden alojar hasta 7.168 ONTs en el mismo espacio que un DSLAM.

Red óptica de distribución (OND): La red de distribución óptica en las arquitecturas FTTx corresponde a la infraestructura óptica que va desde el OLT hasta el ONT del abonado. La ODN es pasiva, no tiene elementos activos o energizados como los OLT y los ONTs. La Figura 38 describe lo anteriormente descrito. La transmisión en la ODN es bidireccional pudiéndose emplear la misma fibra para el tráfico ascendente y descendente o una fibra por separado para cada uno de ellos. En el primer caso deben emplearse banda de longitudes de onda diferentes, utilizándose la banda de 1530- 1570 nm para el tráfico descendente y la banda de 1280-1340nm para el ascendente. La ODN está compuesta por los siguientes elementos en forma general:

- ✓ Patchcord de fibra entre la OLT y el ODF.
- ✓ El ODF.
- ✓ Cables de Fibra Óptica FEEDER que están asociados a la red GPON.
- ✓ Splitters primarios.
- ✓ Cables de DISTRIBUCIÓN.
- ✓ Splitters secundarios si el nivel de atenuación lo permite.
- ✓ Cables de acometida o cables DROP.
- ✓ Cajas terminales.
- ✓ Roseta óptica.
- ✓ Patchcord de fibra entre la roseta óptica y la ONT.

Equipo terminal de red óptica (ONT): La ONT es el elemento que se sitúa en la casa del usuario donde termina la fibra óptica y ofrece las interfaces del usuario. Las ONT deben estar fabricadas de manera tal que soporten las peores condiciones ambientales y generalmente vienen equipadas con baterías.

E. Arquitecturas FTTx

a. FTTH

La fibra óptica llega hasta el hogar del abonado. Utiliza una configuración en estrella lo que permite brindar un mayor ancho de banda a cada usuario. Se pueden utilizar Splitters, lo importante es que se cumpla con el principio fundamental de tener una fibra en la central de telecomunicaciones y varias fibras del lado del usuario.

b. FTTB

La red de fibra llega hasta la entrada del edificio comercial o residencial. El acceso a la red por parte de los usuarios internos se lo realiza por medio de una red de cobre con cableado estructurado.

c. FTTC

Es utilizada comúnmente para interconectar edificios, en donde un armario sirve a varios usuarios. La fibra llegará hasta este armario, y a partir de él, se utilizará cobre.

d. FTTN

La fibra va desde la oficina central hasta el nodo más cercano al usuario. Sin embargo, esta distancia puede ser relativamente larga. A partir del nodo y hasta llegar al usuario final, el medio de transmisión será el cobre.

II. ANÁLISIS DEMANDA ACTUAL Y FUTURA

Un mercado se define por las características de la demanda de los usuarios por un determinado servicio. La demanda de mercado es la cantidad total de compras de un servicio que pueden ser realizados por un determinado grupo demográfico o una zona geográfica concreta.

En otras palabras, un mercado es el lugar en que se relacionan las fuerzas de la oferta y la demanda para realizar las transacciones de bienes y servicios a un determinado precio. Una parte fundamental del análisis de la demanda es determinar el tamaño del mercado, lo que hará posible determinar si la empresa necesita incentivar el interés del consumidor de un determinado grupo demográfico para generar negocio o impulsar diferentes mercados.

A. Área de Cobertura

El cantón Antonio Ante se encuentra ubicado en el norte del país específicamente en la provincia de Imbabura. El cantón Antonio Ante se localiza en el centro de la provincia de Imbabura, y su cabecera cantonal es Atuntaqui. Según la página oficial del cantón, éste posee una superficie de 79 Km² y una población de 43.518 habitantes basada en el último censo de 2010. El cantón Antonio Ante está conformado por 6 parroquias, de las cuales 2 son urbanas (Atuntaqui y Andrade Marín) y 4 son rurales (San Roque, Natabuela, Chaltura e Imbaya). La población del cantón se detalla a continuación en la Tabla I:

TABLA I
POBLACIÓN CANTÓN ANTONIO ANTE

Unidad Territorial	Población (Urbana)	Población (Rural)	Total
Atuntaqui-Andrade Marín	21.286	2.013	23.299
Imbaya	-	1.279	1.279
Chaltura	-	3.147	3.147
Natabuela	-	5.651	5.651
San Roque	-	10.142	10.142
TOTAL	21.286	22.232	43.518

Fuente: (INEC, Instituto Nacional de Estadísticas Y Censos, 2010)

B. Situación Actual Abonados

Para determinar la situación actual de los abonados de acceso a banda ancha en el cantón Antonio Ante, se tomó como referencia el número de usuarios que cada proveedor de servicios de telecomunicaciones tiene en el sector. Para tener datos reales y fiables, los valores que a continuación se detallan fueron referenciados por cada ISP.

TABLA II
NÚMERO DE ABONADOS ACTUALES EN EL CANTÓN ANTONIO ANTE

PARROQUIAS	CNT	REDECOM	TELECOM	TOTAL
Atuntaqui	1.494	99	15	1.608
Andrade Marín	609	41	5	655
San Roque	311	21	3	335
Natabuela	317	19	12	348
Chaltura	309	20	2	331
Imbaya	132	9	5	146
Total	3.172	209	42	3.423

Fuente: ISP

C. Muestreo y Universo de la Investigación

El análisis de la demanda inicia con la determinación del tamaño de mercado que se va a utilizar para realizar el respectivo estudio, por esta razón se utiliza el muestreo que es el procedimiento mediante el cual se selecciona una muestra representativa de la población que se va a analizar, para este caso se considera al cantón Antonio Ante como el universo en la investigación.

Resulta muy importante determinar el tamaño de la muestra, y se responde la siguiente pregunta: ¿Qué tamaño de muestra se necesita usar para un determinado universo? El tamaño del universo depende del nivel de error que se esté dispuesto a aceptar, cuanto más precisión se requiera, mayor muestra se necesita. A medida que se estudia universos mayores, el tamaño de muestra que se necesita cada vez representa un porcentaje menor de dicho universo. El universo planteado para realizar el muestreo será el número actual de abonados de Internet.

D. Tamaño y Cálculo de la Muestra

El cálculo del tamaño de la muestra es uno de los aspectos que determina el grado de credibilidad que se concederá a los resultados obtenidos. La Ecuación 1 se utiliza para determinar la dimensión de la muestra.

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2 * N}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * \sigma^2} \quad [1]$$

Dónde:

n = El tamaño de la muestra.

N = El tamaño del Universo

σ = Desviación estándar de la población 0,5.

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza.

e = Límite aceptable de error muestral del 5% (0,05)

El nivel de confianza más utilizado en diversas investigaciones es del 95% (1,96).

Analizando el número de abonados en cada parroquia, se determinó la forma en las que se va a realizar las encuestas. Para la cabecera cantonal Atuntaqui y Andrade Marín las encuestas se las realizará mediante una encuesta online, de esta manera se reducen tiempos y recursos, en este caso la encuesta se la distribuirá mediante correos electrónicos y redes sociales. Para este sector se utilizará un nivel de confianza del 99% para obtener datos bastantes específicos y con un margen de error mucho menor.

Para las parroquias rurales de San Roque, Natabuela, Chaltura e Imbaya, las encuestas se las realizará personalmente visitando el domicilio de las personas a quienes van dirigidas la investigación, el nivel de confianza que se utilizará será del 95% porque una encuesta personal disminuye en gran medida el margen de error. Después de realizar los cálculos los tamaños de la muestra en las distintas parroquias son los siguientes:

- ✓ Parroquia Atuntaqui/Andrade: 2.263 Abonados
Nivel de confianza: 99%
n=514
- ✓ Parroquia San Roque: 335 Abonados
Nivel de confianza: 95%
n=178
- ✓ Parroquia Natabuela: 348 Abonados
Nivel de confianza: 95%
n=182
- ✓ Parroquia Chaltura: 331 Abonados
Nivel de confianza: 95%
n=177
- ✓ Parroquia Imbaya: 146 Abonados
Nivel de confianza: 95%
n=106

E. Análisis Demanda Actual

Todas las preguntas empleadas en la encuesta permiten tener un conocimiento muy aproximado de detalles que serán de mucha ayuda en el análisis planteado. Sin embargo, para una mejor apreciación de los resultados obtenidos, se ha presentado un resumen detallado en la Tabla III con todos los valores obtenidos en cada una de las parroquias encuestadas.

TABLA III
RESUMEN ENCUESTA

PREGUNTAS DE LA ENCUESTA		Imbaya	Chaltura	Natabuela	San Roque	Atuntaqui / Andrade M.
Nivel de satisfacción	Muy Satisfecho	17%	10%	5%	16%	22%
	Satisfecho	65%	76%	77%	56%	38%
	Poco Satisfecho	16%	12%	13%	24%	26%
	Nada Satisfecho	2%	2%	5%	4%	14%
Planes Internet	1-3 Mbps	84%	87%	77%	86%	46%
	3-5 Mbps	14%	12%	23%	14%	47%
Aumentar navegación	SI	75%	82%	86%	67%	84.5%
	NO	25%	18%	14%	33%	15.5%
Contratar Internet	SI	59%	87%	75%	72%	90%
	NO	41%	13%	25%	28%	10%

F. Proyección y Estimación de la Demanda Futura

Hacer una proyección implica realizar estudios cuantitativos y cualitativos, los cuales buscan describir cómo será el crecimiento económico en un determinado lapso de tiempo hacia el futuro. La proyección de la demanda permite tener un estimado de los requerimientos de la red de acceso a

futuro; se ha considerado un tiempo estimado de proyección de 5 años debido a que se considera un tiempo adecuado en cual se implementarán nuevas tecnologías y por lo tanto la demanda actual cambiará proporcionalmente.

El análisis respecto al crecimiento poblacional se basa en el aumento o reducción general de individuos que un sector tiene durante el lapso de un tiempo determinado. El crecimiento poblacional es el cambio en la población en un determinado plazo, y puede ser cuantificado como el cambio en el número de individuos en una población por unidad de tiempo para su medición. La Tasa de Crecimiento Poblacional (TCP) es el aumento de la población de un país en un período determinado, expresado como porcentaje de la población al comenzar el período. Ésta tasa refleja el número de nacimientos y muertes ocurridos durante el período y el número de inmigrantes y emigrantes del país.

El porcentaje puede ser positivo o negativo. La tasa de crecimiento es un factor que determina la magnitud de las demandas que un país debe satisfacer por la evolución de las necesidades. En el caso de esta investigación el análisis se lo realiza en cuestión de servicios de telecomunicaciones.

Durante el análisis de la demanda de mercado se procedió a determinar el crecimiento poblacional que tendrán los sectores analizados en el cantón en un periodo de 5 años, tomando en cuenta las tasas de crecimiento de cada parroquia y de esta manera poder dimensionar correctamente la red para que esta pueda cubrir la demanda actual, demanda proyectada y el crecimiento de la población.

Según el INEC, la tasa de crecimiento inter censal anual en el país es de 1,52% sin embargo, para estudio de esta investigación se utilizarán las tasas de crecimiento por parroquias, estos datos fueron obtenidos de la página oficial del INEC y se detallan en la Tabla IV.

TABLA IV
TASAS DE CRECIMIENTO POBLACIONAL

Parroquia	Hombre	Mujer	Total
Antonio Ante/Andrade M.	2,13%	2,15%	2,14%
San Roque	1,85%	1,82%	1,83%
Natabuela	3,00%	3,13%	3,07%
Chaltura	0,94%	1,33%	1,14%
Imbaya	2,11%	1,04%	1,57%

Según la guía del Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social ILPES, "Guía Para la presentación de proyectos", la Ecuación 2 se utiliza para determinar el crecimiento poblacional.

$$D(t) = D_0 (1 + i)^t \quad [2]$$

Dónde:

- D(t)= Demanda proyectada con respecto al tiempo (t)
- D₀= Demanda inicial
- i= Tasa de crecimiento poblacional
- t= tiempo en años.

El análisis y la estimación de la demanda proyectada con respecto al crecimiento poblacional se lo realiza basándose en los datos recolectados en los ISP con respecto solo a la demanda actual de Internet. Utilizando la ecuación 2 se obtienen los siguientes resultados respecto a una demanda estimada de usuarios de Internet en 5 años. La tabla V detalla los resultados.

TABLA V
DEMANDA ESTIMADA EN 5 AÑOS

Parroquias	Demanda Actual Abonados	Demanda Estimada en 5 años	
Imbaya	146	158	1.280
Chaltura	331	350	
Natabuela	348	405	
San Roque	335	367	2.516
Andrade Marín	655	728	
Atuntaqui	1.608	1.788	

III. DISEÑO DE LA RED ÓPTICA PASIVA

A. Condiciones Preliminares

Después de realizar el respectivo análisis de la demanda actual y futura de acceso a banda ancha en el cantón Antonio Ante, y basándose en los resultados obtenidos, se determinó que el diseño de la red se lo realizará únicamente para el sector urbano del cantón, específicamente para las parroquias de Atuntaqui y Andrade Marín, ya que en estas zonas existe una gran penetración del mercado económico, tecnológico e industrial actual y a largo plazo.

Teniendo en cuenta que Atuntaqui es la cabecera cantonal de Antonio Ante y que además se la considera como “El Centro Industrial de la Moda” se vuelve muy importante tener como prioridad el diseño de red en este sector, esto debido al notable progreso económico y tecnológico que se evidencia en esta ciudad industrial. Las parroquias rurales no tienen un crecimiento tecnológico y económico de una magnitud elevada como la que se evidencia en el sector urbano, por lo tanto, se considera que realizar un diseño de una red óptica pasiva no es prioridad en esta investigación y ese proceso se lo puede realizar en unos años sin tener una repercusión negativa durante el presente proyecto de titulación.

Para realizar un diseño de red óptico se utilizarán como guía dos normativas: de la Unión Internacional de Telecomunicaciones la normativa ITU-T G.984 que es la encargada de la red óptica pasiva que soporta anchos de bandas hasta de 2,4 Gbps, y por parte de La CNT E.P. la normativa vigente de diseño de la ODN y la Norma Técnica para Dibujo de Redes de Planta Externa.

El determinar la capacidad de transferencia de datos que soportará la red se vuelve fundamental al momento de realizar el diseño de la misma. En este punto, el haber realizado el análisis de la demanda actual y futura de acceso a banda ancha en el cantón en el Capítulo del Análisis de la Demanda, brinda una gran ayuda para determinar el ancho de banda necesario que la red debe resistir para brindar un servicio excelente en un largo plazo.

B. Criterios para el Diseño

Las consideraciones para el diseño de la red implican elegir criterios técnicos adecuados y precisos con respecto a la arquitectura de red seleccionada y al diseño de una red de distribución óptica (ODN) eficiente que optimice los recursos, reduzca la inversión inicial, permitiendo una recuperación del capital a un corto plazo, alcanzar los más altos niveles de flexibilidad posibles y de esta manera alcanzar los objetivos planteados en este proyecto. Los criterios técnicos a considerar se detallan a continuación:

a) Tipo de Red a Utilizarse

No cabe duda de que cualquier inversión de una Operadora que no sea sobre una red FTTH pura, será un CAPEX desperdiciado al final del ciclo de 2 a 3 años más donde

comercialmente la supervivencia desesperada de una operadora que quiera entregar contenido de valor agregado para sus clientes, terminará indefectiblemente en una red pura de fibra óptica. No cabe duda que la única red robusta para aguantar los embates de los Zettabytes que se vienen por el crecimiento de vídeo, es una red FTTH.

Evidentemente FTTH se considera la única red adecuada para garantizar los requerimientos futuros de los clientes y empresas, de esta manera de la tecnología FTTH servirá de plataforma para aplicaciones comerciales y de infraestructura empresariales, Smart Grid, Vídeo Monitoreo Urbano, FTTH en Aplicaciones De Salud, FTTH en Aplicaciones De Salud, etc.

b) Topología de la Red

La topología de la red GPON considerada para el presente diseño es del tipo árbol de cuatro nodos o niveles, ésta tiene como nodo central la OLT ubicada en la oficina central de la CNT en Atuntaqui, la cual alimenta a los nodos de distribución (segundo nivel) representados por los armarios de distribución óptica, la cantidad de armarios ópticos necesarios se los definirá más adelante; de igual forma los armarios de distribución óptica conectan a varios nodos de tercer nivel, como son las cajas ópticas de distribución terminal, y finalmente como cuarto nivel se tienen a las ONTs ubicadas en cada sector o barrios a cubrir con la red GPON. En la Figura 4 se especifica los 4 niveles considerados en la topología de la red.

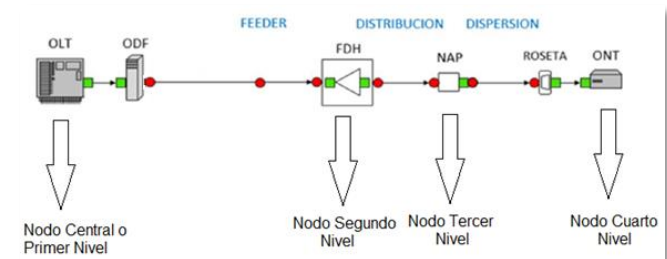


Fig. 4. Topología Red GPON.

c) División del Sector Seleccionado

Para poder realizar un diseño de red más eficaz se ha considerado conveniente dividir todo el sector urbano en dos zonas, la Zona 1 será la parroquia Atuntaqui, y la Zona 2 será la parroquia Andrade Marín. De esta manera se realiza una distribución idónea de los FDH y NAPs en cada una de las zonas establecidas.

d) Ubicación de la OLT

Para determinar el lugar adecuado en donde se considera colocar la OLT, se analizan la infraestructura existente, en el caso del Cantón Antonio Ante, la CNT E.P. tiene instalada la central telefónica en el centro de la cabecera cantonal Atuntaqui, específicamente en las calles Bolívar 1331 y Olmedo.

e) Ubicación de los Divisores Ópticos

Como se puede observar en la Figura 5, los divisores ópticos se ubican en los FDH, teniendo en cuenta que la capacidad máxima de almacenamiento en un armario es de 9 divisores ópticos. En las secciones siguientes se detallan los lugares exactos donde se colocarán los armarios de distribución óptica (FDH) y por lo tanto la ubicación de los Splitters.

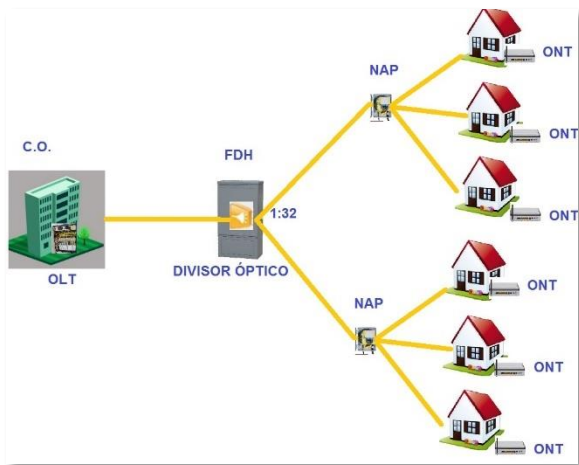


Fig. 5. Diagrama Lógico Red GPON

f) Tipo de Fibra a Utilizarse

El tipo de fibra considerado a usar será la fibra monomodo, ya que este tipo de fibra es el adecuado para redes de media y larga distancia y con alta tasa de transmisión de datos. Se consideran además factores importantes como el precio, valores de atenuación, distancias entre OLT y FDH, etc.

C. Presupuesto Óptico y Cálculo de Pérdidas

Calcular el presupuesto óptico de una red FTTH es una de las actividades más básicas que hay que tener bien clara. El presupuesto óptico determina que tan lejos se puede tener a los clientes sin que la señal transmitida pierda potencia y la información no se pierda.

Para calcular el presupuesto óptico establecido se utiliza la relación descrita anteriormente:

$$\text{Presupuesto Óptico Establecido} = (\text{Potencia Lanz. Tx}) - (\text{Sensibilidad Receptor})$$

$$\text{Presupuesto Óptico Establecido} = (5 \text{ dBm}) - (-27 \text{ dBm})$$

$$\text{Presupuesto Óptico Establecido} = 32 \text{ dB}$$

Ahora se debe calcular el presupuesto de pérdidas, en este caso se deben tener en cuenta las pérdidas que son introducidas por todos los elementos de la red, adicionalmente, se debe considerar un margen de respaldo, que abarca pérdidas que pueden presentarse por diversas causas y que no son predecibles. El presupuesto óptico de pérdidas no debe superar el presupuesto óptico establecido de 32 dB. Las pérdidas a considerar son Atenuación: Por distancia en la fibra óptica, ocasionada por los conectores, por los divisores ópticos, por los empalmes y margen de respaldo.

La atenuación total se calcula sumando las atenuaciones por distancia en la fibra óptica, la producida por los divisores ópticos, empalmes y conectores.

$$\text{Atenuación Total} = (A_d) + (A_c) + (A_s) + (A_e) + (A_r)$$

Donde:

- A_d = Atenuación por distancia en la fibra óptica.
- A_c = Atenuación por conectores.
- A_s = Atenuación por divisores ópticos.
- A_e = Atenuación por empalmes.
- A_r = Atenuación de reserva.

Cliente más cercano:

$$\text{Atenuación T (1310 nm)} = (0,02) + (3,5) + (18,6) + (1,05) + (3) = 26,17 \text{ dB}$$

$$\text{Atenuación T (1550 nm)} = (0,015) + (3,5) + (18,6) + (1,05) + (3) = 26,165 \text{ dB}$$

Cliente más lejano:

$$\text{Atenuación T (1310 nm)} = (1,2) + (3,5) + (18,6) + (1,05) + (3) = 27,35 \text{ dB}$$

$$\text{Atenuación T (1550 nm)} = (0,9) + (3,5) + (18,6) + (1,05) + (3) = 27,05 \text{ dB}$$

Como se lo mencionó anteriormente, las pérdidas totales no deben superar el presupuesto óptico establecido, en este caso el presupuesto establecido es de 32 dB, por lo tanto, el presupuesto de pérdida más alto es de 27,35 dB y, por lo tanto, no sobrepasa los 32 dB y se considera un presupuesto de pérdidas adecuado para realizar el diseño de la red.

D. Diseño Red GPON

a) Red Feeder

El tramo que interconecta la OLT con los Armarios de Distribución Óptica (FDH) se le denomina red feeder o comúnmente como red primaria. La ubicación de los armarios ópticos se vuelve muy fundamental, esta parte de la detallara en la sección de red de distribución óptica (ODN), como se indicó antes, el número estimado de abonados actual en las parroquias de Atuntaquí y Andrade Marín es de 2.263, sin embargo, realizar el diseño de una red que se adapte cambios tecnológicos y el aumento de la demanda es muy importante, con el análisis realizado en el Capítulo de Análisis de la Demanda, se determinó que el número estimado de usuarios para el 2020 será de 2.516, por lo tanto, dejar reservas de puertos en los divisores ópticos es primordial.

Es recomendable realizar la comunicación entre la OLT y los Armarios de Distribución Óptica mediante una canalización. En este caso se reutilizará la canalización existente para el paso del cable de fibra desde la OLT hasta los armarios de distribución óptica (FDH), en los sectores en donde no se encuentre construida la canalización se realizará una proyección de la misma.

b) Red Óptica de Distribución

El tramo que interconecta la red Feeder a la red de dispersión se le denomina red de distribución óptica (ODN), esta red comprende la ubicación de los armarios ópticos, la distribución de los divisores ópticos y la conexión hasta las NAP La red de distribución es el tramo que conecta los armarios de distribución óptica (FDH) hasta las cajas de distribución óptica (NAP). Dentro de los armarios ópticos se encuentran ubicados los divisores ópticos. Los armarios ópticos tienen la capacidad de soportar un máximo de 9 splitters con relación de división de 1:32.

La arquitectura de distribución de los divisores será centralizada, esto quiere decir que se utilizarán solo divisores ópticos primarios, es decir un solo nivel de splitteo. Un armario óptico almacena un máximo de 9 divisores de relación 1:32, de esta manera se obtiene un número de 288 abonados por armario. Sin embargo, es muy importante dejar reservas en los divisores ópticos y en las NAP, se realiza este procedimiento con la intención de tener espacio para futuros abonados sin y que el diseño de la red sea flexible a demandas futuras, de esta manera

se pretende utilizar 8 divisores y dejar el restante para futuros clientes potenciales, así mismo cada divisor puede abastecer a 32 abonados, por lo tanto, es fundamental dejar dos hilos vacíos y solo utilizar los 30 restantes.

Entonces, cada armario estaría brindando servicio a 240 abonados (30*8 divisores), de esta manera se tienen 48 puertos disponibles para ser utilizados en el futuro. Se determinó la ubicación de los armarios ópticos respecto a la infraestructura existente, en este caso, la conexión entre la OLT y los FDH se los realiza mediante canalización, por lo tanto, se ubicó a los armarios en puntos estratégicos para aprovechar la canalización existente. Cada armario almacena 240 abonados, entonces serán necesarios 7 FDH para Atuntaqui y 3 FDH para el sector de Andrade Marín, y se los distribuye de la siguiente manera:

Zona 1: FDH 1, FDH 2, FDH 3, FDH 4, FDH 5, FDH 6, FDH 7

Zona 2: FDH 8 y FDH 9 y FDH 10

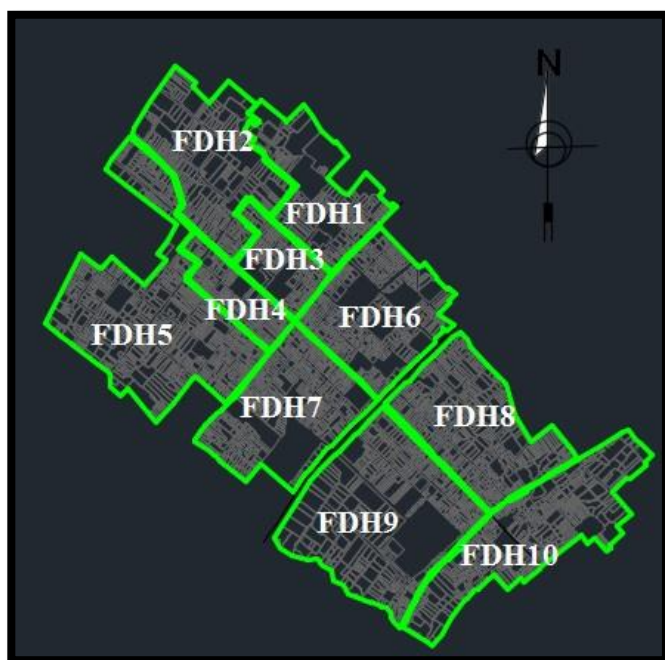


Fig. 6. Ubicación FDH en Zonas

c) Red Dispersión

La red Dispersión es la que va desde la caja de distribución óptica hasta la ONT, es decir, es la red de acometida a cada abonado. Este tipo de red se instala conforme los requerimientos del abonado y este tramo de red no abarca las especificaciones en el diseño planteado en este proyecto, debido al número excesivo de ONTs en el sector que sobrepasa los 2.000 abonados. Una NAP es el punto de conexión entre la red de distribución y las acometidas individuales de cada abonado teniendo una capacidad máxima de 12 puertos por cada equipo, es decir, cada NAP puede abastecer a un máximo de 12 abonados, además son puntos de corte para labores de operación y mantenimiento.

Como se explicó en la sección anterior, es recomendable dejar reservas en los armarios ópticos y en las NAP, de esta manera, en el diseño planteado se establece dejar 2 puertos vacíos en cada NAP para futuros clientes, es decir, solo se utilizarán 10 puertos por cada NAP. Cada armario óptico puede abastecer a 24 NAP (24 * 12 = 288 abonados), sin embargo, al dejar 2 puertos libres por cada caja, se tienen 48 puertos disponibles que se los utilizará en futuras demandas.

Además, como se lo determino en la sección anterior solo se utilizarán 8 de los 9 divisores ópticos disponibles en cada armario, y de los 8 divisores se usarán 30 puertos y los dos restantes se dejarán libres. Entonces, la distribución de las NAP es la siguiente: cada divisor óptico con 30 puertos utilizables abastecerá a 3 NAP, es decir cada NAP dispondrá de 10 puertos. Por, lo tanto se utilizarán 240 NAPs aéreas, 24 cajas ópticas por cada FDH, de las cuales 168 pertenecen a la Zona 1 (Atuntaqui) y las 72 restantes a la Zona 2 (Andrade Marín).

IV. ANÁLISIS COSTO/BENEFICIO

A. Egresos del Proyecto

En la Tabla VI se encuentra el costo total de la implementación de la red. Los precios que se estiman para elaborar el presupuesto para la implementación de la red, están referenciados de los volúmenes de obra de la CNT E.P. actualizado en abril del 2016.

TABLA VI
PRESUPUESTO TOTAL IMPLEMENTACIÓN

Detalle	Gastos (USD)
Red Feeder	183.878,61
Red Distribución	442.272,99
Red Dispersión	587.610,58
Canalización	147.753,84
Total, Gasto Implementación	1.361.516,02

En esta sección se calculan los costos totales actuales, es decir, el costo por mantenimiento de red, sueldos de personal, movilización de personal y equipos activos. No se toman en cuenta los gastos por implementación de la red. En la Tabla VII se observan los detalles.

TABLA VII
COSTOS TOTALES ACTUALES

Detalle	Gastos (USD)
Mantenimiento De Red	68.075,80
Gastos Personal Administrativo	62.880,00
Movilización Personal	9.600,00
Equipos Activos	219.725,00
Total, Costos Actuales (USD)	360.280,80

B. Ingresos del Proyecto

En la tabla VIII se muestra los ingresos anuales por prestación de servicios de Internet, además de la instalación de equipos a los nuevos abonados.

TABLA VIII
INGRESOS TOTALES

Años	Tarifa Anual Telefonía Fija (USD)	Tarifa Anual Internet (USD)	Instalación (USD)	Ingresos Anuales (USD)
Año 0	315.689,64	0	0	315.689,64
Año 1	315.689,64	156.116,16	19.020,00	490.825,80
Año 2	315.689,64	289.578,24	35.280,00	640.547,88
Año 3	315.689,64	423.532,80	51.600,00	790.822,44
Año 4	315.689,64	245.255,04	29.880,00	590.824,68
Año 5	315.689,64	124.597,44	15.180,00	455.467,08
Total	1.894.137,84	1.239.079,68	150.960,00	3.284.177,52

C. Indicadores de Rentabilidad

Después de realizar el análisis financiero, se puede determinar si el proyecto planteado es viable o no, esto se lo realiza utilizando los indicadores de rentabilidad. A continuación, se realiza un resumen de los datos más importantes analizados en este capítulo.

Se determinó que el costo total estimado para la implementación es de 1.361.516,02 USD, además con los datos obtenidos del departamento de proyectos de la CNT E.P. se determinó los gastos totales actuales, es decir los gastos anuales que incluyen el mantenimiento de la red, sueldos al personal

administrativo, gastos por movilización y por los equipos activos, dando un total de 360.280,80 USD gastos estimados.

Así mismo, se determinó los ingresos por prestación de servicios e instalación de equipos, teniendo como ingresos de 3.284.177,52 USD durante los 5 primeros años. De esta manera se realizó una tabla de flujo de caja para establecer los flujos netos y poder determinar la viabilidad del proyecto mediante los indicadores de rentabilidad. De esta manera se concluye lo siguiente:

- ✓ El valor del VAN es 439.305,60 USD, se determina que el proyecto es factible, además se puede concluir que la implementación de esta red será viable.
- ✓ Se obtuvo una TIR del 17,72 %, y considerando que la tasa de interés descuento utilizada fue la tasa activa del Banco Central de 8,02%, resulta una TIR superior, por lo tanto, se considera un proyecto con una viabilidad enorme.
- ✓ El tiempo exacto en el cual se recuperará la inversión inicial es de 3 años, 5 meses y 26 días. El período de recuperación se encuentra dentro de los primeros 5 años, por lo tanto, se considera un tiempo adecuado para recuperar la inversión inicial y el proyecto evidentemente es muy factible.
- ✓ Con respecto a la relación costo/beneficio, se determinó que por cada dólar que la CNT E.P. invierta en el proyecto, se obtendrá una ganancia de un dólar y 91 centavos, es decir se considera una ganancia de casi el doble, por lo tanto, la relación costo/beneficio es muy positiva y favorable, entonces el proyecto se considera realizable.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. Conclusiones

La población en el cantón Antonio Ante aumenta a una tasa del 2.5% anual, una tasa de crecimiento alta en comparación con la nacional que es de 2.1%, adicionalmente este cantón es considerado un sector con un alto crecimiento industrial, textil y ser un eje económico del norte del país, la red actual de cobre no abastecerá los requerimientos futuros de los abonados, la demanda futura de clientes requiere a futuro una red GPON que soporte una tasa de transferencia promedio de 15 Mbps por abonado.

En el Ecuador actualmente solo el 28,3% de los hogares tienen acceso a Internet. Se demuestra claramente que el Ecuador tiene un porcentaje bajo en relación al 56% que la UIT estima para el 2020. Adicionalmente el país posee una densidad de conexiones de banda ancha fija del 4,19%, lo que está por debajo del 8% de la media latinoamericana. Al realizar el estudio de la demanda actual y futura en el sector de Atuntaqui y posteriormente realizar el diseño, el cantón incrementará conexiones de banda ancha y a su vez la penetración del servicio de Internet incrementará.

Se consideró FTTH como la tecnología más adecuada a utilizar en el sector, ya que este tipo de red se adapta a las exigencias del sector urbano de Atuntaqui. Debido a la demanda de usuarios actuales y a la estimada, la red actual que es puramente de cobre, no podrá abastecer los requerimientos futuros en donde las tasas de transferencias superan los 5 Mbps, es en este punto donde las redes FTTH alcanzan una gran ventaja frente a redes de cobre o híbridas.

Al comenzar el análisis de la demanda actual, se tenía previsto realizar el diseño de la red para todo el cantón, es decir las parroquias urbanas y rurales, sin embargo, después de

analizar las tasas de crecimiento poblacional en cada parroquia, se concluye que es prioridad realizar el diseño de la red GPON en la cabecera cantonal Atuntaqui, ya que posee una tasa de crecimiento de 2,14%, muy por encima de las parroquias rurales, además al ser éstas, zonas en donde la penetración del servicio de Internet es baja, se considera a utilizar tecnologías como FTTC o FTTN, y aprovechar la infraestructura existente.

El número de abonados actual en el sector urbano de Antonio Ante es de 2.263, sin embargo, se realizó un diseño de red flexible, acorde a cambios tecnológicos y al aumento de la demanda, el número estimado de usuarios para el 2020 será de 2.516, por lo tanto, se consideró oportuno dejar reservas de puertos en los divisores ópticos. De esta manera se estableció un diseño de red idóneo para adaptarse a potenciales clientes a futuro.

El proyecto es financieramente factible, esto se determinó mediante los indicadores de rentabilidad, se obtuvo un VAN de 439.305,60 USD, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 17,72%, este análisis demostró valores adecuados para considerar el proyecto viable, y de esta manera que la empresa a la cual se pretende servir obtenga ganancias muy rentables, además, el Período de Recuperación de la Inversión Inicial (PRI) es de 3 años, 5 meses y 26 días, dicho período se encuentra dentro de los 5 primeros años y se le considera un tiempo adecuado para recuperar el capital invertido, además por cada dólar que la empresa invierta, se obtendrá 1 dólar y 91 centavos, es decir se considera una ganancia de casi el triple por cada dólar invertido, obteniendo una relación costo/beneficio (C/B) muy rentable.

B. Recomendaciones

Las encuestas dirigidas al sector urbano de la ciudad de Atuntaqui no se las realizó personalmente, sino mediante correos electrónicos y redes sociales. Se recomienda realizar este tipo de encuestas de manera online ya que así se optimiza tiempo y recursos, este tipo de encuestas se considera realizar en zonas urbanas donde existen bastantes habitantes.

Es muy importante conocer las características de los equipos activos de la red GPON, como son la OLT y ONT, ya que de esta manera se logra realizar cálculos de enlaces ópticos y pérdidas por atenuación muy fiables, además de determinar si un equipo de un determinado fabricante logrará satisfacer las necesidades y requerimientos que el diseño de la red exige conforme a los estándares y normas nacionales e internacionales.

Se recomienda disponer de un plano georreferenciado del sector a cubrir, de esta manera se facilita el diseño de la red, ya que se cuenta con fallas geográficas exactas, y no es necesario ir un lugar específico para realizar alguna medición en particular. También es fundamental disponer una planimetría del sector, en donde se encuentre nombres de calles, postería, catastros, etc.

Contar con conocimientos básicos de AUTOCAD es fundamental y primordial al momento de realizar el diseño de la red. Es recomendable manejar el software de manera rápida y eficaz, tener familiarización con los comandos, de esta manera se evita pasar por situaciones riesgosas como perder información, además de simplificar tiempo y recursos para el diseñador.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ARCOTEL. (2015). Boletín Estadístico del Sector de Telecomunicaciones. Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/11/Boletin6.pdf>

- [2] CISCO. (2016). CANAL AR. Obtenido de <http://www.canal-ar.com.ar/23123-Cisco-en-2020-Argentina-tendra-31-millones-de-internautas.html>
- [3] CNT E.P. (2014). Normativa de diseño de la ODN.
- [4] CNT E.P. (2016). CNT llega con tecnología GPON a varios sectores del territorio nacional. Obtenido de <http://corporativo.cnt.gob.ec/cnt-llega-con-tecnologia-gpon-a-varios-sectores-del-territorio-nacional/>
- [5] IEEE. (2002). Telecommunications and Information exchange between systems. ANSI/IEEE Standard.
- [6] INEC. (2010). Instituto Nacional de Estadísticas Y Censos. Obtenido de Resultados del censo 2010: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/imbabura.pdf>
- [7] MINTEL. (2014). Reporte Tecnologías De La Información Y Comunicaciones Para El Desarrollo. Obtenido de <http://www.industrias.ec/archivos/CIG/file/CARTELERA/MINTEL-TIC%20para%20el%20Desarrollo.pdf>
- [8] MINTEL. (2014). Resumen Ejecutivo-Informe sobre Medición De la Sociedad de la Información.
- [9] UIT. (17 de Octubre de 2013). Tutorial de Comunicaciones Ópticas. Obtenido de Union Internacional de Telecomunicaciones: http://nemesi.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2_1_1.htm
- [10] UIT-T. (2008). Recomendación UIT-T G.984.X
- [11] UIT-T. (2009). Recomendación UIT-T G.652. Obtenido de Características de las fibras y cables ópticos monomodo: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-200911-I/es>

