



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

ESCUELA DE POSTGRADOS

TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

PRODUCTO FINAL: ARTÍCULO CIENTÍFICO

MAESTRÍA:
TELEMÁTICA MENCIÓN: CALIDAD EN EL SERVICIO
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
REDES DE TELECOMUNICACIONES ÓPTICAS FIJAS
TÍTULO:
DISEÑO DE REDES FTTH-GPON CON ENFOQUE QoS
AUTOR(A):
PABLO ANDRÉS LOAYZA VALAREZO
TUTOR(A):
EDISON JAVIER GUAÑA MOYA

Quito, Ecuador

2019

INTRODUCCIÓN AL TRABAJO DE TITULACIÓN

El incremento exponencial del volumen de datos, requeridos por parte de los usuarios, a tiempos cada vez más reducidos hace que los prestadores de internet implementen la tecnología FTTH-GPON en el despliegue o migración de sus redes, buscando de esta forma abastecer la demanda de datos de sus abonados. Sin embargo, por desconocimiento del funcionamiento de ésta tecnología y/o por abaratar costos en: diseño e implementación; muchos prestadores de internet despliegan sus redes de fibra óptica de manera anti técnica con equipamiento dimensionados empíricamente sin ningún criterio alguno del manejo del tráfico de datos y crecimiento ordenado de futuros abonados.

El avance tecnológico en el área de las telecomunicaciones avanza a pasos agigantados, cada vez los procesos de la vida diaria, tanto en lo personal como en lo laboral, requieren de un mayor uso de las tecnologías de la comunicación e información (TIC); los mismos que, para tener un alto grado de efectividad, dependen de un mejor flujo (velocidad) en el intercambio de paquetes de datos, logrando de esta manera que las actividades de nuestros procesos cotidianos sean ejecutadas de tal forma que mejoren nuestra calidad de vida. Por consiguiente un acceso eficaz a este tipo de tecnología no puede verse limitado, únicamente, a personas que viven en localidades donde económicamente pueda ser más rentable el despliegue de una red de fibra óptica; o a su vez que por motivos de estratificación social y/o bajos ingresos económicos de ciertos sectores poblacionales, la calidad de servicio ofrecida en la red de telecomunicaciones existente sea ineficaz e inadaptable a las necesidades tecnológicas actuales de su población.

OBJETIVO GENERAL

Delinear técnicas secuenciales específicas para un dimensionado adecuado del equipamiento de la red FTTH-GPON con datos certeros de fuentes confiables.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar áreas de cobertura.
- Definir la factibilidad del uso de infraestructura existente.
- Establecer la población.
- Especificar el método estadístico para el cálculo de la muestra.
- Calcular el coeficiente de crecimiento de abonados FTTH-GPON.
- Determinar el ancho de banda domiciliar promedio proyectado.
- Dimensionar los parámetros técnicos de: OLT, ONT y ODN.

PERTENENCIA DEL ARTÍCULO:

Desde la perspectiva tecnológica ecuatoriana, al delinear técnicas secuenciales específicas para el dimensionado de redes FTTH-GPON, primeramente se estaría aportando con la ciencia local al estudiar medios de transmisión de telecomunicaciones fijos usados actualmente en países de primer mundo; pero principalmente su aporte está dirigido a la comunidad de profesionales de telecomunicaciones fijas en el país, de

pequeñas y/o grandes empresas que prestan servicios de Internet, con el objetivo de que en sus futuros diseños de redes FTTH-GPON, tanto de implementación como de migración, las especificaciones técnicas más importantes de su equipamiento tengan una base de cálculo real, lo suficientemente fuerte, para poder garantizar calidad en el servicio.

El aporte de este artículo en el ámbito social es que los futuros abonados de redes FTTH-GPON tengan un servicio de internet con un altísimo grado de calidad y disponibilidad, estable a través del tiempo, para de esta forma poder satisfacer a plenitud la gran mayoría de sus necesidades tecnológicas.

La contribución desde el punto de vista ambiental, al proponer estas técnicas de diseño, es la posibilidad de la descontaminación visual reduciendo el seccionamiento del medio físico de transmisión de la redes de telecomunicaciones, cable de fibra óptica.

En el Ecuador, especialmente el sector público, las consultorías realizadas en distintas ramas de la ingeniería presentan productos de muy mala calidad; son realizadas en escritorio, sin data levantada en campo, y no se ajustan a normas ni procedimientos técnicos del levantamiento y manejo de la información. Adicional a esto los plazos establecidos para la realización de los estudios son calculados con un enfoque político y no real en beneficio de los proyectos. Por tanto los resultados de presentar consultorías mal realizadas se reflejan en el momento de la construcción de las obras, en donde no tan solo presentan un sin número de fallas técnicas, muchas de estas fatales donde se puede poner en riesgo la vida humana, sino también en costos de implementación, que generalmente se duplican los mismos, y en los plazos de la ejecución de las obras.

Como país, el costo social de lo antes descrito ha sido muy elevado ya que existen infraestructuras paralizadas o abandonadas sin poder darle el uso social para las cuales fueron proyectadas. Por tanto la realización de esta investigación pretende despertar conciencia a toda la comunidad de consultores para que sus productos sean realizados de la manera más técnica y objetiva posible, para que las obras proyectadas cumplan con su fin a cabalidad.

El dimensionado del equipamiento para cualquier tipo de obra de ingeniería es de vital importancia y por ende su cálculo tiene que basarse en información real, completa y concisa; la experiencia empírica para este tipo de cálculo es uno de los principales factores de que los proyectos fracasen.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO INVESTIGATIVO

1. Contextualización del tema en el mundo profesional

El uso de tecnologías de transmisión de datos fijos como: RF (Radio Frecuencia), ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), ISDN (Integrated Services Digital Network) y HFC (Hybrid Fiber-Copper), poco a poco están dejando de ser eficientes debido a la demanda exponencial, por parte de los usuarios, de más datos a mayor velocidad. Por consiguiente, la migración o implementación de tecnología, en redes de telecomunicaciones fijas, para la transmisión y recepción de datos a tasas Gigabit end-to-end, FTTH-GPON (Fiber To The Home - Gigabit Passive Optical Network), por parte de los prestadores de servicios de internet ISP (Internet Service Provider) ha ido incrementando.

Lamentablemente muchos ISP realizan el despliegue de su red FTTH-GPON sin ningún tipo de diseño o con diseños que no incluyen técnicas de:

- Manejo (Identificación, segmentación y alivianamiento) de tráfico de datos de sus abonados presentes y proyectados.
- Crecimiento organizado de la red de acuerdo al número de abonados proyectados.

Para estos prestadores de internet su meta está trazada en obtener un mayor número de abonados, a corto plazo, con inversiones económicas reducidas. Esta visión no garantiza la calidad de servicio (QoS), en el tiempo, de sus abonados debido a que, con el crecimiento de usuarios y anchos de banda, el tráfico de datos es mayor y con la ausencia de técnicas de diseño de su manejo, podría verse afectada la disponibilidad y la velocidad del servicio.

2. Campo teórico conceptual empleado y principales autores consultados

Según a los criterios planteados por Sampieri (2014, p. 4) el enfoque cuantitativo tiene una naturaleza de datos numérica y confiables y su teoría se basa en la comparación de investigaciones realizadas anteriormente, por otros autores, con la investigación del estudio que se está realizando para poder determinar su validez en el “mundo real”. En este tipo de enfoque la bibliografía que utiliza el investigador es primordial para un correcto desarrollo de todas las etapas que comprende el estudio en ejecución.

Por otro lado el enfoque cualitativo, de acuerdo a Sampieri (2014 p. 6), la naturaleza de los datos a estudiar es subjetiva y por tanto dependen muchos de donde estos provienen. Su teoría se basa en datos empíricos, del estudio en ejecución, que se comparan con datos de investigaciones anteriores como marco de referencia. La bibliografía utilizada por el investigador tiene menor relevancia en este enfoque y lo que limita la dirección del estudio es el proceso de evolución y aprendizaje a través de las distintas etapas del mismo.

Por consiguiente el enfoque de esta investigación es de carácter mixto. Cuantitativo, ya que se basa en investigaciones científicas anteriores con datos numérico reales (hard data) para el dimensionado de las especificaciones técnicas del equipamiento. Cualitativo, debido a que para determinar el ancho de banda domiciliario proyectado, se basa en la subjetividad de cada individuo del hogar y del sector al momento de realizar

las encuestas.

Según Sampieri (2014, p. 98) el tipo de investigación correlacional analiza el nivel de relación que existe entre dos o más variables dentro un mismo contexto de estudio. Para determinar esto, las variables, primeramente, se las calcula independientemente para luego ser analizadas y determinar el grado de relación que existe entre cada una de estas.

El diseño no experimental, o de campo, según Sampieri (2014, p. 152) se observa las variables en su contexto natural para posteriormente analizarlas, es decir, no son deliberadamente manipuladas para observar su comportamiento relacionadas en conjunto. Adicional, el mismo autor, define como **diseño no experimental-transaccional-correlacional-causal** como la recolección de datos, en un solo momento, para de esta forma poder determinar el grado de incidencia y relación entre las variables sin precisar sentido de casualidad.

Por tanto el tipo de investigación utilizado en el presente artículo es de diseño no experimental-transaccional-correlacional-no causal debido a que se realizó la recolección de datos en donde existen más de dos variables, que se relacionan entre si y que no son deliberadamente manipuladas, en un solo contexto de estudio.

Entre los principales autores consultados están los siguientes:

- David Hood.
- Cedric Lam.
- Paul Eliot Green.
- Huawei Technologies.
- Cisco.

3. Investigaciones previas realizadas

Siendo consultor en telecomunicaciones y habiendo sido contratado para prestar mis servicios en ISP pequeños y grandes, nuevos y antiguos; me percate que la mayoría de estos prestadores de servicios de internet no tienen procedimientos ni normativas para poder realizar sus diseños de implementación de redes FTTH-GPON en el país. Por consiguiente el dimensionado de las especificaciones técnicas más relevantes del equipamiento son establecidas de manera empírica, sin ningún tipo de cálculo ni de información real obtenida para poder derminarlas. Por tanto en la presente investigación que detalla este artículo se estudió: papers, libros, conferencias, revistas tecnológicas; de profesionales, investigadores, docentes, empresas tecnológicas y de servicios de telecomunicaciones; de forma de poder agrupar lo más relevante de sus investigaciones en un solo documento.

Se comenzó, primeramente, investigando los principios técnicos fundamentales de la transmisión de datos bajo un haz de luz a través de hilo de fibra, principalmente de sílice, para de esta forma tener claro los conceptos técnicos más relevantes de la tecnología en fibra óptica, los cuales se detallan a continuación.

Introducción a la fibra óptica

La fibra óptica, en el ámbito de las telecomunicaciones, es considerada como la “tercera alternativa” para el envío de voz o de datos, por medio de un haz de luz, a través de un conductor(es) de fibras de vidrio. La principal ventaja de utilizar un haz de luz, para el transporte de información, es la facilidad en la cual señales de alta velocidad puedan ser moduladas y transportadas a largas distancias con pérdidas relativamente bajas (Azadeh, 2009).

El fenómeno de la Reflexión Total Interna ha sido conocido desde 1854, y su uso empezó antes de la década de los 50 para fines médicos (endoscopias). Pero a fines de los años 70, los científicos e investigadores lograron reducir las pérdidas de transmisión por km, en las longitudes de onda de la luz, y por ende dio el inicio de la era de las telecomunicaciones en fibra óptica (Hecht, 2015)

Longitud de onda de la luz y espectro electromagnético

La gran ventaja de la modulación de las longitudes de onda, a través de un haz de luz, es lo que hace posible enviar distinta variedad de datos, “simultáneamente” (ej. voz, datos y televisión) por un solo hilo de fibra; a este campo se lo conoce como el espectro electromagnético (Hecht, 2015)

El espectro electromagnético cubre una gran variedad de frecuencias, y la luz visible solamente ocupa una pequeña fracción en esta. Por consiguiente en aplicaciones con fibra óptica se está tratando con dos bandas separadas del espectro: la frecuencia óptima y frecuencias con menor rango en modulación, una gráfica de esta lo podemos observar en la Figura 1.

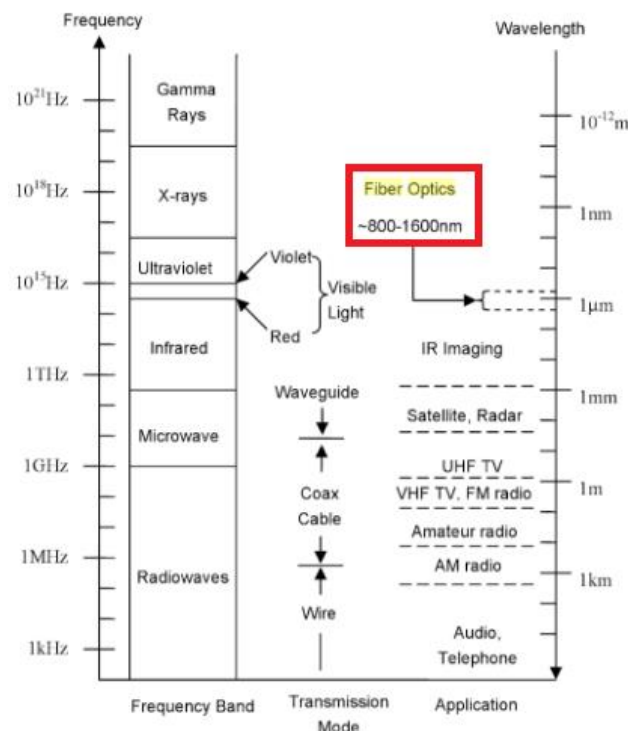


Figura 1 - El espectro electromagnético

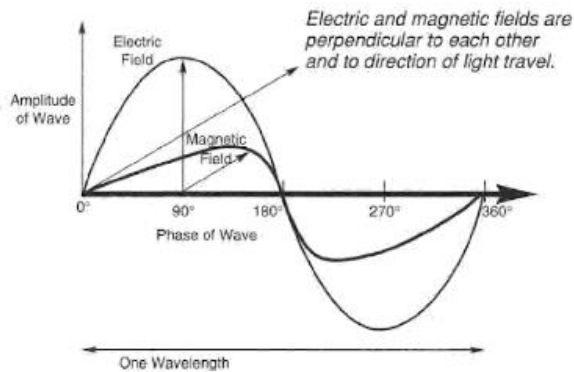


Figura 2 - Componentes de una onda de luz

En figura 1 podemos observar que la longitud de onda es indirectamente proporcional a la frecuencia, en el espectro electromagnético. A bajos niveles de frecuencia la longitud de onda es alta por tanto el mejor medio para transferir energía electromagnética es a través de cables conductores. Pero al momento que las frecuencias incrementan, la longitud de onda se reduce y por tanto la naturaleza de la onda, en las señales, tiene que tomarse en cuenta. Podemos observar que la transmisión en fibra óptica utiliza una reducida porción del espectro electromagnético.

Las longitudes de onda más usadas para las comunicaciones en fibra óptica están en el rango de los 800 a 1600 nm; la principal razón porque se usa este rango de longitud de onda es a la fuente de generación de luz y el medio de fibra (Azadeh, 2009). Muchos semiconductores laser, emisores de luz, utilizan este rango de longitud de onda para su propagación, y por otro lado las pérdidas de energía en fibras de silicio, en este rango, alcanzan valores mínimos. Por consiguiente estos dos factores hacen que el rango de longitudes de onda (800 a 1600 nm), para comunicaciones en fibra óptica, sea óptimo.

Funcionamiento de la fibra óptica

Los dos elementos básicos en fibra óptica son: núcleo y recubrimiento; el núcleo es la parte interna de la fibra donde guía la luz, el recubrimiento es la parte externa que recubre la fibra. El índice de refracción en el núcleo es mayor que el de recubrimiento por lo que la mayor cantidad de propagación de luz se lo realiza a través del núcleo; esta propagación se realiza a través de fotones (partícula de luz) que chocan en las “paredes” o revestimiento de la fibra óptica, tal como se muestra en la Figura 3.

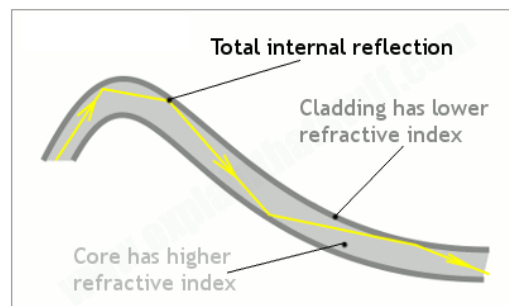


Figura 3 - Funcionamiento de la fibra óptica

Al momento de chocar en el revestimiento, la luz se refracta dentro del mismo núcleo de la fibra conociéndose este fenómeno como la Reflexión Total Interna. La diferencia del índice de refracción del núcleo con el del revestimiento debe ser menor al 1% para fibras usadas en telecomunicaciones. Para que la propagación de la luz, dentro del núcleo, sea efectiva se necesita que la luz choque a un ángulo no mayor de 8° con el revestimiento a través de todo el hilo de fibra. Este fenómeno se lo puede observar en la Figura 4 (Govind, 2010).

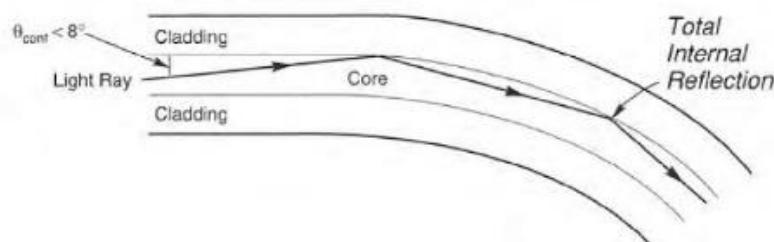


Figura # 4 - Propagación de la luz

Modos de transmisión del haz de luz y componentes del cable de fibra óptica

Las distintas formas de propagación del haz de luz en un hilo de fibra óptica se lo conocen como modo. Un modo es que el haz de luz se propague recto por el centro del núcleo de la fibra, otro modo es que rebote el haz de luz, a cierto ángulo, en el recubrimiento de la fibra, y otros modos sería que rebote el haz de luz a distintos ángulos. En la Figura 5 se puede observar la composición de un cable de fibra óptica.

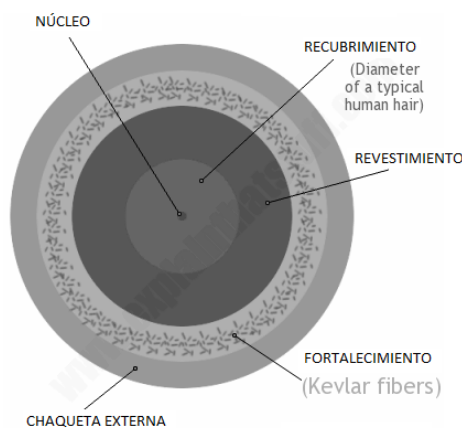


Figura 5 - Composición de cable de fibra óptica

Cable Mono-modo: Tiene un núcleo muy delgado de aproximadamente 5-10 micras (millonésimas de metro) de diámetro. En una fibra mono-modo, todas las señales viajan en línea recta hacia el centro sin rebotar en los bordes. Las señales de TV por cable, Internet y teléfono generalmente son llevadas por fibras mono-modo, envueltas en un gran paquete. Cables como este pueden enviar información de más de 100 km (60 millas). Esto se lo puede observar en la Figura 6 (Govind, 2010).

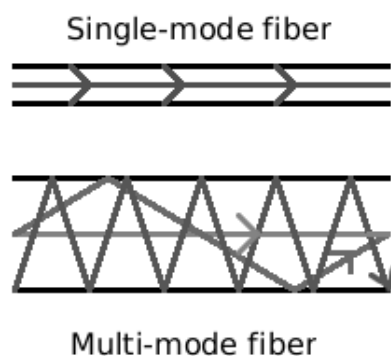


Figura 6 - Tipos de modos

Cable Multi-modo: Cada fibra óptica en un cable multi-modo es aproximadamente 10 veces más grande que una en un cable mono-modo. Esto significa que los rayos de luz pueden viajar a través del núcleo siguiendo una variedad de caminos diferentes (líneas violeta, verde y azul), en otras palabras, en múltiples modos diferentes. Los cables multi-modo pueden enviar información solo a distancias relativamente cortas y se usan (entre otras cosas) para unir redes informáticas (Govind, 2010).

Una vez investigado los conceptos medulares de la transmisión de datos bajo fibra óptica, se procedió a investigar procedimientos normados para el diseño de redes FTTH-GPON en el Ecuador, de empresas grandes de envergadura, que se detalla a continuación.

La metodología a seguir para dimensionar una red de fibra óptica FTTH-GPON descrita por Prat (2012, p.102) adicional a manuales y procedimientos descritos por la CNT EP: (2014, Corporación Nacional de Telecomunicaciones. Empresa Pública) son las la que más se ajusta a este estudio por lo tanto es la que describe a continuación:

FASE 1

Consiste en realizar un estudio de mercado a la población en el cual se analizara los siguientes aspectos:

- Análisis catastral de la ciudad para poder determinar y definir las áreas donde se realizaran las encuestas.
- Análisis de la infraestructura de la red eléctrica de la ciudad para poder determinar y definir las áreas donde se realizaran las encuestas.

Una vez determinada las áreas de la población a estudiar, se debe realizar el cálculo de la muestra bajo un método estadístico para luego realizar las encuestas.

Consiguientemente se debe analizar, procesar y depurar los datos obtenidos en las encuestas para de estar forma determinar y plasmar los resultados, sintetizados por cada área de la población estudiada.

FASE 2

De acuerdo a los resultados del estudio de mercado, se debe realizar el cálculo de ancho de banda promedio domiciliario actual y proyectado a 5 años y de esta forma poder dimensionar todo el equipamiento del Distribuidor que cumplan con un descongestionamiento efectivo del tráfico de datos de abonados actuales y proyectados para garantizar QoS:

- Definir el sitio exacto donde ira ubicada la Cabecera o Distribuidor, explicar los motivos.
- Determinar el tipo de equipamiento necesario para la provisión de servicios de internet y, de ser el caso, los servicios de IoT.
- Dimensionar el equipamiento para poder determinar qué tipo de red pasiva de fibra óptica se implementara: GEPON o GPON.
- Definir las especificaciones técnicas generales y específicas del equipamiento.
- Plantear dos alternativas de marcas de equipos para su compra, esto debe ser determinado por su precio y calidad.

FASE 3

De acuerdo al cálculo actual y proyectado de: ancho de banda promedio domiciliario y la cantidad de abonados a servir, se debe establecer, medir y delimitar las especificaciones técnicas de todos los elementos, equipos y materiales necesarios de Planta Externa (Red: Troncal, de Distribución y Dispersión) que cumplan con un descongestionamiento efectivo del tráfico de datos de abonados actuales y proyectados para garantizar QoS:

- Realizar un pre-diseño, en diagrama de bloques, de la red troncal y de distribución, definiendo y determinando claramente el número de distritos a construir.
- Definir, de acuerdo a utilidad y presupuesto, si se va instalar ONU con Router o solo ONTs.
- Definir las especificaciones técnicas generales y específicas del equipamiento de la red de dispersión: conector mecánico, roseta óptica, ONU/ONT y/o Router.
- Plantear dos alternativas de marcas de equipos para su compra, esto debe ser determinado por su precio y calidad.
- Levantamiento de la información, mediante un replanteo, a todas las áreas donde irán desplegada la red.
- Geo-referenciar la infraestructura existente (postería) y a construir (red de fibra óptica) con sus respectivas longitudes.
- Reafirmar o cambiar la capacidad (cantidad de hilos) de los cables de fibra óptica a utilizar, realizado en el pre-diseño, para la red troncal como para la distribución.
- Ubicación definitiva de mangas troncales y de distribución.
- Ubicación definitiva de las cajas de distribución (NAP).
- Ubicación definitiva de reservas de cable para mantenimiento y/o futura expansión de la red.
- Tipo y cantidad de preformados y herrajes de: suspensión, retención, dispersión o tipo farol, necesarios para la construcción de la red de fibra óptica.
- Con los datos obtenidos en el replanteo, realizar el estacamiento geo-

referenciado con toda la infraestructura existente y todos los elementos de la infraestructura a construir.

- Realizar el presupuesto óptico, por cada distrito, para determinar si los niveles de pérdidas de potencia están dentro de los rangos permisibles.
- Realizar la Infraestructura FTTH de la red pasiva óptica.
- Realizar la nomenclatura con la que se manejara toda la red FTTH.
- Realizar el dibujo en AutoCad de la red a construirse con bloques de atributos de cada elemento de la misma.
- Realizar un esquema de bloques final de la red FTTH a construir.
- Realizar un el esquema de NAPS en Google Earth para un correcto manejo catastral de las NAPs.

FASE 4

Estudio técnico-económico de la construcción de la red FTTH.

1. Análisis de los egresos del proyecto:
 - Costos de equipamiento de Planta Interna.
 - Costos de equipamiento de Planta Externa.
 - Costos de software para la operación.
 - Costos de instalación de la red FTTH.
 - Costos de logística e imprevistos.
 - Costos de operación y mantenimiento
2. Análisis de los ingresos del proyecto:
 - Tarifa mensual por el servicio.
 - Precio de equipos de servicios IoT y un posible financiamiento.
3. Evaluación económica del proyecto:
 - Beneficio o utilidad neta (BN).
 - Valor presente neto (VPN).
 - Tasa interna de retorno (TIR).
 - Periodo de recuperación del capital (PRC).
 - Rentabilidad.
 - Tasa de interés activa vigente

En base en investigaciones previas de técnicas de técnicas empleadas para la recolección de datos, según los criterios de Sampieri (2014, p.198) en la etapa de recolección de datos se debe elaborar un plan bien detallado para lograr recoger la información fundamental y necesaria (cuantitativa y/o cualitativa) para las etapas posteriores de la investigación.

Para este estudio en particular se debe obtener primeramente datos históricos cuantitativos como por ejemplo: predios catastrales y cobertura de infraestructura eléctrica; y que una vez analizado y procesada esa información se proceda al levantamiento de los datos cualitativas, mediante la realización de encuestas, según el criterio muestral descrita en el punto anterior de este estudio.

Por lo tanto es esencial la elaboración de un plan para recolección ordenada de los datos, que se describe a continuación:

Paso 1.- Análisis catastral de la ciudad para poder determinar y definir las áreas y población donde se realizaran las encuestas.

Paso 2.- Análisis de la infraestructura de la red eléctrica de la ciudad para poder determinar y definir las áreas donde se realizaran las encuestas.

Paso 3.- Una vez determinada las áreas de la población a estudiar, se debe realizar las encuestas a su población.

Paso 4.- Analizar, procesar y depurar los datos obtenidos en las encuestas para de estar forma determinar y plasmar los resultados, sintetizados por cada área de la población estudiada.

Paso 5.- De acuerdo a los resultados de las encuestas, se debe determinar las variables cuantitativas para poder dimensionar adecuadamente todo el equipamiento y material a utilizar para la implementación de una red de telecomunicaciones de fibra óptica FTTH.

Para el levantamiento de datos cuantitativos, en campo, para un dimensionamiento adecuado de una red FTTH se seguirá la descrita por Prat (2012, p.102) adicional a manuales y procedimientos descritos por la CNT EP: (2014, Corporación Nacional de Telecomunicaciones. Empresa Pública).

En investigaciones previas de formas de procesamiento de información, Según los criterios de Sampieri (2014, p.198) la etapa de procesamiento de la información se debe desarrollar una vez que los datos estén ingresados en una matriz sin errores a un sistema computacional para que posteriormente sean analizados.

Para la elaboración del Paso 4 descrito en el anterior punto, para este estudio se utilizara el programa informático Statistical Package for the Social Science (IBM SPSS) para analizar y determinar resultados de las variables cualitativas y cuantitativas de las encuestas realizadas. Mediante esta herramienta estadística se podrá determinar: ancho de banda promedio por barrio o sector, barrios que quieren migrar de tecnología, aportes económicos promedio, barrios dispuestos a cambiar de ISP, etc. Con los resultados que arroje el software SPSS se procederá al Paso 5 que es el levantamiento de datos cuantitativos de diseño de la red FTTH.

Para el análisis de resultados del dimensionado de equipos y materiales de la red FTTH se utilizara normas y procedimiento teóricos ya establecidos por regulaciones de fabricantes y operadoras, tal es el caso de presupuestos ópticos, pruebas de velocidad y pruebas de cobertura para determinar: perdidas de potencia tolerables a la sensibilidad de los equipos, anchos de banda de carga/descarga y puntos óptimos de instalación de la ONT todos estos respectivamente.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

ESCUELA DE POSGRADOS

MAESTRIA EN TELEMÁTICA,

MENCIÓN: CALIDAD EN EL SERVICIO

(Aprobado por: RPC-SO-19-No.300-2016-CES)

TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

Título:
DISEÑO DE REDES FTTH-GPON CON ENFOQUE QoS
Autor/a:
PABLO ANDRÉS LOAYZA VALAREZO
Tutor/a:
EDISON JAVIER GUAÑA MOYA

Quito - Ecuador

2019

Diseño de redes FTTH-GPON con enfoque QoS

Pablo Andrés Loayza ¹

pablo.loayza@andinagestion.com

¹ Maestrante en Telemática, Universidad Israel, Quito - Ecuador.

Resumen: El incremento exponencial del volumen de datos, requeridos por parte de los usuarios, a tiempos cada vez más reducidos hace que los prestadores de internet implementen la tecnología FTTH-GPON en el despliegue o migración de sus redes, buscando de esta forma abastecer la demanda de datos de sus abonados. Sin embargo, por desconocimiento del funcionamiento de ésta tecnología y/o por abaratar costos en: diseño e implementación; muchos prestadores de internet despliegan sus redes de fibra óptica de manera anti técnica con equipamiento dimensionados empíricamente sin ningún criterio alguno del manejo del tráfico de datos y crecimiento ordenado de futuros abonados. Este documento delinea técnicas secuenciales específicas para un dimensionado adecuado del equipamiento de la red FTTH-GPON, empezando por: delimitar áreas de cobertura, definir la población y muestra, cálculo del crecimiento de abonados y el cálculo de ancho de banda domiciliar; todo esto con datos certeros de fuentes confiables.

Palabras-clave: FTTH; GPON; QoS; CO_{FTTH} ; CO_{BW} .

Abstract: The exponential increase of more data, by internet subscribers, in reduced slots of time, is making Internet Service Providers (ISPs) to deploy or migrate their internet networks to FTTH-GPON technology, thus seeking to meet their subscriber's demand. However due to either lack of knowledge of the core functions of the technology or to lessen costs in: design and implementation; many ISPs deploy their FTTH networks with no QoS and subscriber growth sizing techniques of the equipment. This document lines up specific and sequential sizing techniques for FTTH-GPON equipment, starting from: delimiting network's coverage area, defining the population and the sample, subscriber's growth and calculating average home bandwidth projections; all of this with reliable information obtained by certified sources.

Keywords: FTTH; GPON; QoS; CO_{FTTH} ; CO_{BW} .

1. Introducción

El uso de tecnologías de transmisión de datos fijos como: Radio, XDSL, Coaxial, HFC (Hybrid Fiber-Copper), poco a poco están dejando de ser eficientes debido a la creciente demanda, por parte de los usuarios, de más datos a mayor velocidad (ancho de banda). Por consiguiente la migración o actualización de tecnología para la transmisión y recepción de datos a tasas Gigabit end-to-end, en redes de telecomunicaciones fijas, a FTTH-GPON es un hecho.

Las necesidades tecnológicas en el ámbito: personal, social, educativo y laboral, de la población, hace que se necesite un mayor flujo en la transmisión de datos en periodos de tiempo cada vez más reducidos; por lo que la implementación de una red de telecomunicaciones pasiva de fibra óptica de alta capacidad (FTTH – GPON), con técnicas de alivianamiento de tráfico de datos y QoS, podrá solventar estas necesidades.

2. Estado del arte FTTH-GPON

La tecnología PON (Passive Optical Network) fue desarrollada a principios de la década de los 80 debido al gran avance investigativo de las ventajas de transmisión y recepción de datos, a través de un haz de luz, en hilos de fibra óptica; y por la creciente demanda de acceso a servicios de banda ancha. Sin embargo, debido al alto costo de equipamiento y materiales, y del gran tamaño de los componentes del sistema hizo que esta tecnología no sea rentable. A su vez se utilizaron tecnologías digitales en cobre tales como: ISDN y DSL; que ofrecían acceso a servicios de banda ancha y el costo de despliegue de sus redes era moderado (Hood, 2012).

En la década de los 90, con la evolución tecnológica, el acceso al internet se masificó y el uso de sus distintas aplicaciones requería un mayor ancho de banda y por tanto las tecnologías digitales de cobre no abastecían con satisfacción los requerimientos de velocidad que necesitaban sus usuarios (Lam, 2007); a su vez el costo de equipamiento y materiales para el despliegue de redes PON tendía a decrementar debido a los significativos avances investigativos en áreas como la optoelectrónica y la microelectrónica (Effenberger & El-Bawab, 2009). En esta década es cuando realmente “nace” la tecnología PON, en redes de telecomunicaciones fijas, y es adoptada por varios ISP.

2.1. Descripción y topología

Las redes pasivas ópticas (PON) es una tecnología de telecomunicación implementada en sistemas de acceso a fibra FTTx (Fiber To The x – Home, Node, Curve, Building, Premises, etc.) que permite el enrutamiento o switcheo de paquetes de datos, entre sus equipos terminales de transmisión y recepción, sin la necesidad de elementos con alimentación eléctrica (Effenberger & El-Bawab, 2009).

La tecnología PON utiliza tres tipos de topologías para el despliegue de su red:

1. Topología tipo árbol.
2. Topología tipo bus.
3. Topología tipo anillo.

En la década de los 80s se utilizó la topología tipo anillo para el despliegue de las primeras redes PON sin embargo las pérdidas de inserción por reflectancia eran muy elevadas y se dejó de usar esta topología. En los 90s las redes PON adoptaron la topología tipo árbol y es la que se utiliza para su despliegue en la actualidad (Hood, 2012).

2.2. Evolución

Existen dos instituciones a nivel mundial encargadas en normar y regular estándares en telecomunicaciones de redes PON: la ITU-T (International Telecommunications Union) y la IEEE.802 (Institute of Electrical and Electronic Engineers). El grupo FSAN (Full Service Access Network), constituido en 1995, no está considerado formalmente como un instituto regulador, sin embargo, la mayoría de sus recomendaciones son adoptadas por la ITU-T (Hood, 2012).

La evolución de las redes PON y sus especificaciones técnicas, mediante los estándares ITU-T, se lo puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1 – Evolución y especificaciones redes PON (Arris Enterprises Inc., 2014)

ITU-T	APON	BPON	GPON1	GPON2
<i>Año</i>	1996	2001	2003	2007
<i>Estándar</i>	ITU- T G.983.1	ITU- T G.983 S	ITU- T G.984	ITU- T G.984.5
<i>Velocidad DS</i>	155 Mbps	622 Mbps	2,50 Gbps	2,50 Gbps
<i>Velocidad US</i>	155 Mbps	622 Mbps	1,25 Gbps	2,50 Gbps
<i>λ (nm) de DS</i>	1490	1490	1480 - 1500	1480 - 1500
<i>λ (nm) de US</i>	1300	1300	1260 - 1360	1390 - 1330
<i>Split Ratio</i>	1:32	1:32	1:64; 1:128	1:64; 1:128
<i>Distancia</i>	20 km	20 km	20 km	20 km

2.3. Arquitectura, modo de acceso y encapsulamiento

El tipo de arquitectura de redes GPON es P2MP (Point to Multipoint – Punto a Multipunto) con topología tipo árbol, con elementos pasivos ópticos (sin alimentación de energía eléctrica) para la distribución de las señales a sus usuarios (Lam, 2007).

Las redes FTTH-GPON utilizan las tecnologías TDM (Time Division Multiplex) y TDMA (Time Division Multiple Access) como modo de acceso/direccionamiento de tráfico de datos de: descarga (OLT->ONT) y de carga (OLT<-ONT), respectivamente (Cale, Salihovic, & Ivekovic, 2007).

Para el encapsulamiento de datos, las redes FTTH-GPON, se lo realiza mediante dos etapas. La primera mediante el modo GEM (GPON Encapsulation Method) para encapsular tramas ethernet (voz, datos y video) y la segunda mediante el modo GTC (GPON Transmission Convergence) para el encapsulamiento de las tramas de datos: GEM, ATM y tráfico TDM (Gregory & Abbas, 2016).

2.4. Funcionamiento de envío (descarga) de tramas

La OLT (Optical Line Terminal) realiza el encapsulamiento de las tramas ethernet, ATM y TDM; mediante GEM y GTC, y son transmitidas en una cadena de tramas de descarga como mensajes “broadcast” a todas las ONT (Optical Network Terminal) conectadas a la red ODN (Optical Distribution Network) (Lam, 2007). Esto se lo realiza a través de hilo(s) de fibra óptica, del cable troncal, por la longitud de onda correspondiente de acuerdo al estándar ITU-T G.984, refiérase a la Tabla 1.

La cadena de tramas de descarga llega a los elementos de potencia pasivos, splitters ópticos, y éstas son distribuidas a todas las ONT conectadas a la red ODN de forma íntegra, es decir la misma estructura de tramas va a recibir la ONT₁ como la ONT_n. En la Figura 1 se puede observar que la cadena de tramas de descarga está compuesta de los siguientes paquetes de datos: PCBd (Physical Control Block downstream) y Payload (Paquetes de información de descarga y tráfico encapsulados GEM y GTC) (Cale, Salihovic, & Ivekovic, 2007). Los paquetes de datos PCBd son utilizados por las ONT para extraer el Payload que le corresponda **bajo el modo de acceso TDM**; cuyo tiempo de transmisión esta sincronizado por la OLT a 125µs por trama. En el caso de que la OLT no necesite enviar paquetes de datos de información (Payload) este seguirá transmitiendo la cadena de tramas de descarga completa a las ONT para efectos de sincronización de tiempos (Cale, Salihovic, & Ivekovic, 2007).

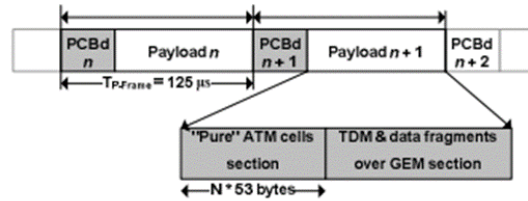


Figura 1 – Cadena de tramas de descarga (Cale, Salihovic, & Ivekovic, 2007)

2.5. Funcionamiento de recepción (carga) de tramas

Para la recepción de datos, la OLT realiza un plan de asignación (bandwidth map) que consiste en establecer lotes de tiempo variables a cada ONT, para el envío de sus tramas, cuyos intervalos dependen del tráfico, clase y calidad de servicio (CoS, QoS) del momento de la realización del plan (Gregory & Abbas, 2016). Una vez asignado el bandwidth map las ONT envían ráfagas de trama de datos, respetando los lotes de tiempo asignados a cada equipo, cuya estructura contiene como mínimo los siguientes paquetes de datos: PLOu (Physical Layer Overhead upstream), identificadores de asignación (Alloc-IDs), DBRu (Dynamic Bandwidth Report upstream), y el Payload (Gregory & Abbas, 2016), esto se lo puede observar en la Figura 2; pero adicional puede contener: PLOAMu (Physical Layer Operation, Administration and Management upstream), PLSu (Power Level Sequence upstream) (Cale, Salihovic, & Ivekovic, 2007). La composición de paquetes de datos de la trama de carga se lo puede observar en la Figura 3.

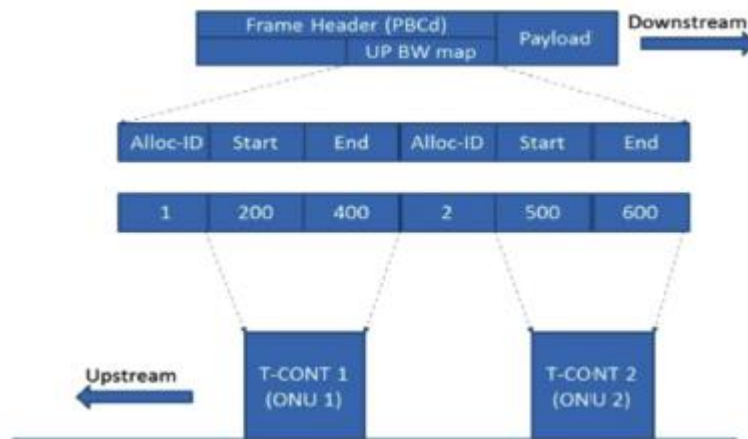


Figura 2 – Estructura de trama de carga (Gregory & Abbas, 2016)

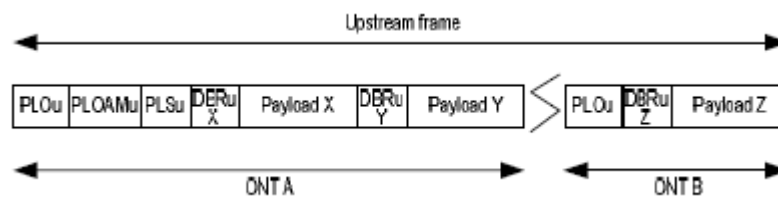


Figura 3 – Composición tramas de carga (Cale, Salihovic, & Ivekovic, 2007)

En la recepción de tramas de carga, el ancho de banda de cada ONT no solo depende del tráfico de datos generado por si misma sino por un patrón de tráfico de todas las ONT conectadas a la ODN (Lam, 2007). Por tanto, cada ONT debe generar un reporte de congestión, contenedores de tráfico de datos (T-CONTs), que debe ser enviada a la OLT para que esta pueda realizar el

bandwidth map (Cale, Salihovic, & Ivekovic, 2007).

Cuando las ráfagas de tramas de datos enviadas por las ONT - bajo el **modo de acceso TDMA** - llegan a la OLT, estas son puestas en cola conforme a las clases de servicio que tienen los T-CONTs de cada trama de la ONT, para luego ser procesadas de acuerdo al bandwidth map (Gregory & Abbas, 2016).

La clasificación de T-CONTs con QoS en redes GPON son (Gregory & Abbas, 2016):

1. T-CONT tipo 1 es un servicio para asignar anchos de banda y ubicación de Payloads fijos con permisos periódicos no solicitados. Adecuado para tráfico CBR (Constant Bit Rate).
2. T-CONT tipo 2 es un servicio que asegura anchos de banda, donde exista mayor retardo o jitter. Adecuado para tráfico CIR (Committed Information Rate).
3. T-CONT tipo 3 es un servicio para tráfico VBR (Variable Bit Rate) que no asegura retardos.
4. T-CONT tipo 4 es un servicio para tráfico de mejor desempeño como navegación en internet.
5. T-CONT tipo 5 es un servicio combinado de los 4 anteriores que es apropiado para un flujo general de tráfico.

Debido a que cada ONT está en una ubicación distinta respecto a la otra, puede haber casos donde existan colisiones de tramas de carga causado por un desfase de los tiempos de retardo (Gregory & Abbas, 2016). Para que esto no suceda la OLT realiza un proceso de alcance al momento de registrar e iniciar una ONT en la ODN; calculando el tiempo de retardo, según su distancia de la ONT, para poder ecualizar y transmitir este tiempo a las demás ONT. Este proceso se lo llama Equalization Delay (ED) (Green, 2006).

3. Metodología

3.1. Delimitar áreas de cobertura

Para poder empezar con el diseño de una red FTTH-GPON inicialmente se debe delimitar el área de cobertura a servir. Esto se lo realiza de la siguiente manera:

- Realizar una inspección visual, in situ, del sitio de interés para poder determinar: hogares a servir con suministro legal de energía eléctrica (medidor), factibilidad de despliegue de la red (postería existente, postería ocupada, postería nueva), factibilidad en postes para la instalación de cajas de distribución y dispersión ópticos.
- Mediante un equipo GPS (Global Positioning System) tomar puntos georreferenciados del área de cobertura.
- Con la utilización de software que incluyen herramientas GPS (Google Earth, QGIS) dibujar el área de cobertura. Véase Figura 4.
- Especificar a que barrio o parroquia pertenece el área de cobertura.

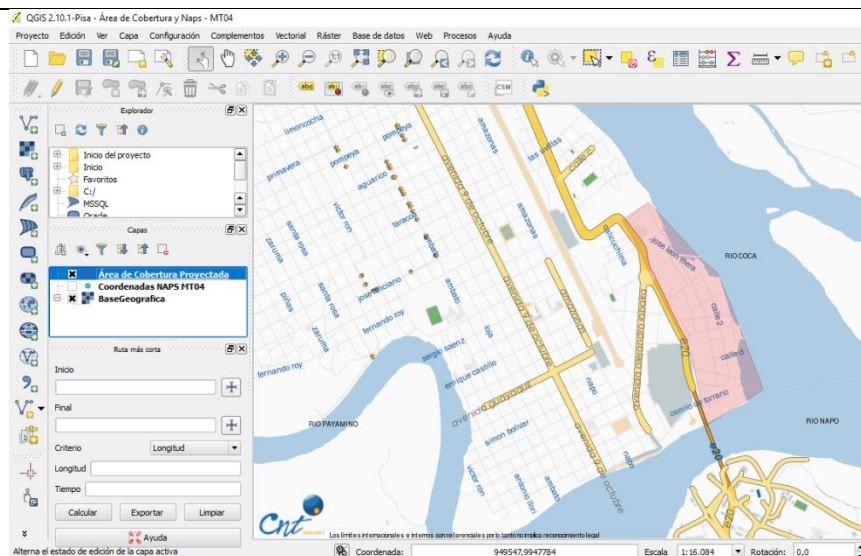


Figura 4 – Delimitación de área de cobertura a servir utilizando el software QGIS

3.2. Definir la población actual a servir

El levantamiento de la información de la población se lo debe realizar de fuentes confiables. Debido a regulaciones y normas de órganos reguladores y de control de las telecomunicaciones, para dar servicio de internet o telefonía fija, los abonados proyectados deben tener un suministro legal de energía eléctrica. Por consiguiente, se debe realizar la consulta formal a la empresa eléctrica encargada de la distribución y comercialización en el área de cobertura delimitada y de esta forma poder determinar el número total de clientes regulados facturados.

3.3. Cálculo de coeficiente de crecimiento de abonados FTTH

Se debe determinar el coeficiente de crecimiento de la población con acceso a servicios FTTH (Co_{FTTH}) en los próximos años; este periodo específico depende del tiempo de duración de los permisos o licencias de funcionamiento otorgados a cada ISP por parte del órgano regulador. Para el cálculo del coeficiente de crecimiento se debe obtener históricos de datos estadísticos, que sean lo más específicos posible al área de cobertura a servir, proporcionados por instituciones reguladoras y de control de las telecomunicaciones de cada país o región. Como ejemplo se va realizar el cálculo Co_{FTTH} de la parroquia Cumbayá del Distrito Metropolitano de Quito, provincia de Pichincha, hasta el 2022 (3 años de vigencia de permisos); con datos históricos proporcionados por el ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de la Telecomunicaciones) desde el año 2015 hasta la fecha. Esto se lo puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2 – Número de abonados FTTH en la parroquia Cumbayá (ARCOTEL, 2019)

AÑO	ABONADOS
2015	10.198
2016	13.061
2017	15.941
2018	18.952
2019	21.517

En la Figura 5 se puede observar la gráfica de barras del historial de crecimiento de abonados FTTH en la parroquia Cumbayá con su curva exponencial aproximada y su ecuación cuya fórmula es la siguiente:

$$y = 8798,8e^{0,1866x}$$

Utilizando esta fórmula para el cálculo de crecimiento de abonados hasta el año 2022 se tiene los siguientes resultados:

1. Año 2020 – 26.956 abonados
2. Año 2021 – 32.486 abonados
3. Año 2022 – 39.151 abonados

Por consiguiente, para obtener el coeficiente de crecimiento de abonados FTTH (CO_{FTTH}) se debe realizar la siguiente fórmula:

$$CO_{FTTH} = (\#abonados \text{ proyectados}) / (\#abonados \text{ actuales})$$

$$CO_{FTTH} = (39.151) / (21.517)$$

$$CO_{FTTH} = 1,82$$

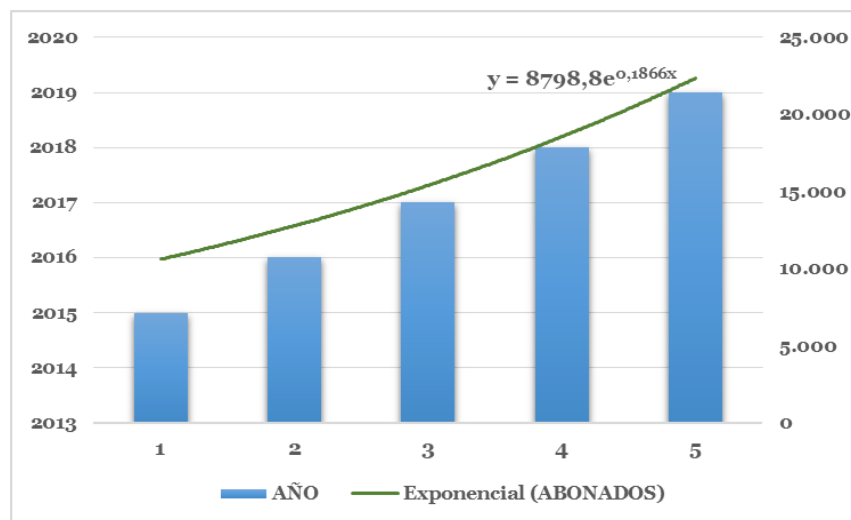


Figura 5 – Crecimiento de abonados FTTH en la parroquia Cumbayá (ARCOTEL, 2019)

3.4. Cálculo de la muestra por medio de un método de muestreo

Para determinar la muestra se debe elegir el método probabilístico debido a que su cálculo se basa en técnicas científicas. Adicional todos los elementos de la población son sujetos a poder participar de la muestra. Dentro de este método probabilístico se debe elegir: muestreo aleatorio simple; debido a que los elementos que componen la muestra son elegidos dentro de un proceso aleatorio (mediante Excel o SPSS), donde no interviene la subjetividad de criterio del investigador, cuya probabilidad de ser escogidos es igual para todos.

Debido a que ya se conoce la población para el cálculo de la muestra se debe utilizar la ecuación de muestreo probabilístico aleatorio simple de población finita (menores o iguales a 30.000 elementos) que se muestra a continuación:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{e^2 \cdot (N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde,

n = Tamaño de la muestra

N = Población

Z = Valor expresado en desviaciones típicas y que está en función de un nivel de

Confianza dado

P = Probabilidad de ocurrencia (éxito)

Q = Probabilidad de no ocurrencia (fracaso)

e = Error de estimación

Para el cálculo de la muestra se recomienda utilizar un nivel de confianza del 95% ($Z = 1,96$) con un error de estimación (e) del 6%; para que el tamaño de la misma no sea muy grande y dificulte el levantamiento de la información de las encuestas. Adicional se recomienda utilizar una probabilidad de éxito y fracaso equilibrada ($P = Q = 0,5$).

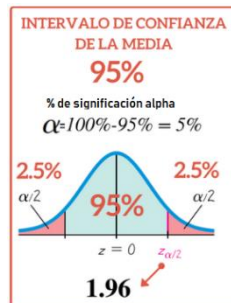


Figura 6 – Curva de distribución normal estándar con un nivel de confianza del 95%

3.5. Levantamiento de información de demanda a través de encuestas

Se debe realizar el levantamiento de información de demanda a la muestra a través de encuestas a domicilio al/la jefe (a) de hogar. Las preguntas a realizar son las siguientes:

1. ¿Cuántas personas en el hogar tienen acceso a internet?
2. ¿Qué aplicaciones o uso realiza cuando está conectado a internet?
3. ¿Cuál es el horario donde se conectan el mayor número de personas a internet?

Una vez levantada la información de campo se debe procesar y organizar la data a través de software con herramientas estadísticas y de esta forma poder determinar los resultados promedio de cada una de las preguntas realizadas en las encuestas.

3.6. Cálculo de ancho de banda promedio actual y proyectado

Con los resultados del paso anterior, para el cálculo de ancho de banda promedio domiciliario, se debe realizar una tabla donde conste: el número de personas promedio con acceso a internet, detalle de las aplicaciones más utilizadas y la franja horaria promedio donde se utiliza más el internet. Como ejemplo se puede ver la Tabla 3 donde se encuentra tabulados los resultados promedios de las encuestas realizadas en el barrio La Primavera, de la parroquia Cumbayá.

Las velocidades promedio, para una ejecución adecuada, se las obtuvo investigando en las páginas web oficiales de cada aplicación, buscando los requerimientos mínimos de velocidad: Netflix (Netflix, 2019), YouTube (Google, 2019), Skype (Microsoft, 2019), Xbox (Microsoft, 2019).

En el caso de que no se pueda encontrar esta información se debe buscar en otras páginas web confiables tal es el caso de prestadores de internet (ISP) internacionales de prestigio: Spotify (HighSpeedInternet, 2019), correos y redes sociales (HighSpeedInternet, 2019).

Las velocidades promedio, para una ejecución adecuada, se las obtuvo investigando en las páginas web oficiales de cada aplicación, buscando los requerimientos mínimos de velocidad: Netflix (Netflix, 2019), YouTube (Google, 2019), Skype (Microsoft, 2019), Xbox (Microsoft, 2019).

Tabla 3 – Resultados promedios de encuestas realizadas al barrio La Primavera

MIEMBRO	ACTIVIDAD	VELOCIDAD
Padre	Streaming HD Netflix	5,00 Mbps
	Redes sociales (video)	1,00 Mbps
	Exploración en internet	0,33 Mbps
Madre	Skype (HD video)	1,50 Mbps
	Streaming SD Youtube	1,10 Mbps
	Enviar Mail (archivo)	1,15 Mbps
Hijo>10 años	Redes sociales	0,50 Mbps
	Whatsapp (HD video)	2,00 Mbps
	Streaming SD Netflix	3,00 Mbps
Hija<10 años	Online gaming (Xbox)	3,00 Mbps
	Streaming SD Youtube	1,10 Mbps
Empleada	Streaming Spotify	0,32 Mbps
Ancho de banda total (BW _{actual})		20,00 Mbps
Franja horaria de mayor uso	6 PM - 9 PM	

En el caso de que no se pueda encontrar esta información se debe buscar en otras páginas web confiables tal es el caso de prestadores de internet (ISP) internacionales de prestigio: Spotify (HighSpeedInternet, 2019), correos y redes sociales (HighSpeedInternet, 2019).

Para el caso del ejemplo se pudo determinar la demanda promedio de ancho de banda domiciliar actual sin embargo se debe realizar el cálculo de Co_{bw} (Coeficiente de crecimiento de ancho de banda), cuyo periodo depende del tiempo de duración de los permisos o licencias de funcionamiento otorgados a cada ISP por parte de la institución reguladora.

Esta información de históricos se la debe obtener del órgano rector de las telecomunicaciones en cada país, sin embargo, si en el caso de que la información esté: incompleta, incongruente o no exista; se puede utilizar otras fuentes confiables como reportes de grandes empresas tecnológicas internacionales dedicadas al desarrollo de las telecomunicaciones. Para el ejemplo se basó en datos proporcionados por la empresa CISCO que se puede observar en la Figura 7.

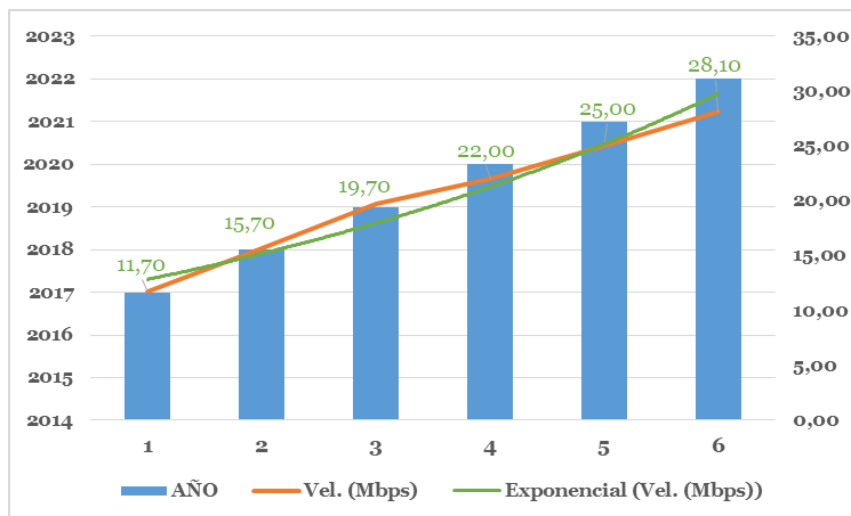


Figura 7 – Crecimiento de velocidades de internet fijo en Latinoamérica (Cisco, 2018)

Se puede observar en la Figura 7 que el ancho de banda promedio al 2019 es de 19,70 Mbps y el proyectado al 2022 es de 28,10 Mbps, por consiguiente, de estos resultados, para nuestro ejemplo, se puede realizar el cálculo del Co_{BW} , cuyo procedimiento se muestra a continuación:

$$Co_{BW} = (\text{velocidad proyectada}) / (\text{velocidad actual})$$

$$Co_{BW} = (28,10 \text{ Mbps}) / (19,70 \text{ Mbps})$$

$$Co_{BW} = 1,43$$

4. Resultados

4.1. Dimensionado de especificaciones técnicas de OLT y ONT

Cálculo parámetros técnicos OLT

Se debe determinar el nivel de splitteo óptimo de los puertos PON de la OLT. La tecnología y equipos GPON permiten trabajar con 3 niveles de splitteo: 1:32, 1:64 y 1:128; lo que quiere decir que con cada puerto PON se puede brindar servicio a 32, 64 y 128 abonados. En este paso es donde la mayoría de ISP se equivoca, debido al desconocimiento del funcionamiento de la tecnología y/o por abastecer más clientes con la utilización de un solo puerto.

Del ejemplo que se ha venido utilizando se va a determinar el nivel de splitteo óptimo con la siguiente fórmula:

$$BW_{\text{proy}} \leq \frac{DS_{\text{GPON}}}{SR}$$

SR

Donde,

BW_{proy} = BandWidth (Ancho de banda domiciliar proyectada)

DS_{GPON} = DownStream (Velocidad de descarga GPON – Tabla 1)

SR = Split Ratio (Nivel de splitteo)

Por tanto,

$$BW_{\text{proy}} = BW_{\text{actual}} (\text{refiérase a la Tabla 3}) \cdot Co_{BW} (\text{refiérase a la Figura 7})$$

$$BW_{\text{proy}} = 20,00 \text{ Mbps} \cdot 1,43$$

$$BW_{\text{proy}} = 28,60 \text{ Mbps}$$

Comprobación nivel de splitteo 1:128

$$BW_{\text{proy}} \leq \frac{DS_{\text{GPON}}}{SR}$$

SR

$$28,60 \text{ Mbps} \leq \frac{2500 \text{ Mbps}}{128}$$

128

$$28,60 \text{ Mbps} \leq 19,53 \text{ Mbps}; \text{ no cumple.}$$

Por tanto, si se escogiera este nivel de splitteo no se podría brindar un ancho de banda promedio de 28,60 Mbps a los 128 abonados.

Comprobación nivel de splitteo 1:64

$$BW_{\text{proy}} \leq \frac{DS_{\text{GPON}}}{SR}$$

SR

$$28,60 \text{ Mbps} \leq \frac{2500 \text{ Mbps}}{64}$$

64

$$28,60 \text{ Mbps} \leq 39,06 \text{ Mbps}; \text{ sí cumple.}$$

Para el ejemplo, el nivel de splitteo de 1:64 es el más optimo ya que se podría brindar hasta casi 40 Mbps a cada uno de los 64 abonados.

Los cálculos anteriores es una técnica de descongestión de datos efectiva, para el ejemplo, debido a que eligiendo un nivel de splitteo de 1:64, en vez de 1:128, se aliviana considerablemente el tráfico; aminorando: el tamaño del GTC del Payload y el tiempo de envío de la cadena de tramas. Esto se lo puede visualizar en la Figura 8.

Ahora se debe determinar el número de puertos PON necesarios para poder dar servicio a la población proyectada. Para el ejemplo que se ha venido utilizando se lo muestra a continuación:

$$\text{Pob}_{\text{proy}} = \text{Pob}_{\text{actual}} \cdot \text{Co}_{\text{FTTH}} \text{ (refiérase a sección 3.3)}$$

$$\text{Pob}_{\text{proy}} = 21,517 \cdot 1,82$$

$$\text{Pob}_{\text{proy}} = 39,160 \text{ abonados}$$

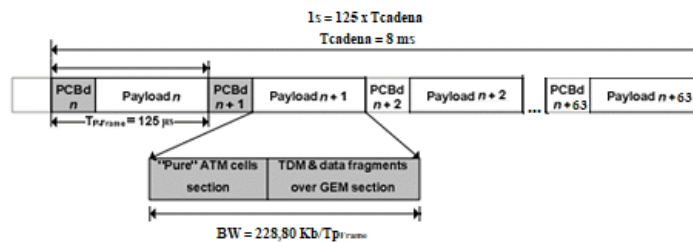
Ahora,

$$\# \text{PON} = \frac{\text{Pob}_{\text{proy}}}{\text{SR}}$$

$$\# \text{PON} = \frac{39,160}{64}$$

$$\# \text{PON} = 611,87 = 612$$

Nivel de splitteo 1:64



Nivel de splitteo 1:128

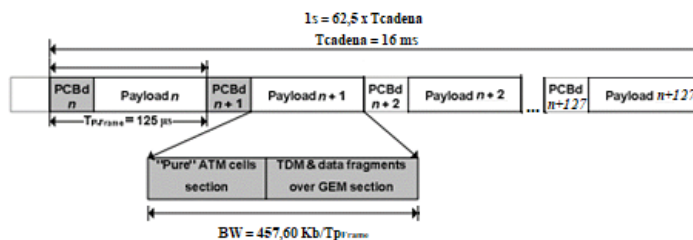


Figura 8 – Alivianamiento de tráfico de datos de descarga por nivel de splitteo

Una vez determinado el número de puertos PON se debe detallar las especificaciones técnicas, de la OLT, apropiadas para un manejo efectivo del tráfico de datos. Para el ejemplo que se ha venido utilizando se lo muestra a continuación (Huawei Technologies, 2019):

1. QoS: Para el manejo de ancho de banda, latencia, jitter y tasa de paquetes perdidos.
2. Modelo QoS: Servicio Diferenciado (DiffServ).
3. Componentes DiffServ: Clasificación de tráfico, dimensionado y control de tráfico, manejo de congestión, descongestionamiento de tráfico.
4. Filtro de tráfico: ACL (Access Control List).
5. Mecanismo de agendamiento multi-nivel: HQoS (Hierarchical Quality of Service).

6. Número de T-CONT: 16 por abonado.
7. Número de puertos GEM: 3872 por puerto PON.
8. Escalabilidad y adaptabilidad de Slots a: XG-PON1, XG-PON2 y NG-PON

Debido a que las especificaciones de 1-5 deben ser configuradas en la OLT se debe poner énfasis a la franja horaria con mayor congestión: 6 PM - 9 PM.

La tecnología GPON permite una distancia de instalación máxima de 20 km entre OLT y ONT con los siguientes presupuestos ópticos por puerto PON (Huawei Technologies, 2017):

- Clase A: 5 dB – 20 dB (Nivel de splitteo de 1:32).
- Clase B: 10 dB – 25 dB (Nivel de splitteo de 1:64).
- Clase B+: 13 dB – 28 dB (Nivel de splitteo de 1:64).
- Clase C: 15 dB – 30 dB (Nivel de splitteo de 1:64).
- Clase C+: 17 dB – 32 dB (Nivel de splitteo de 1:128).
- Clase C++: 20 dB – 35 dB (Nivel de splitteo de 1:128).

Para el ejemplo se escogerá las siguientes especificaciones (Huawei Technologies, 2019):

1. Presupuesto óptico Clase B+
2. Método de Alcance: RTD (Round Trip Delay) y EqD (Equalization Delay).
3. Distancia máxima entre dos ONT en el mismo puerto: 40 km.
4. Implementación de zona de silencio para el RTD y EqD en horas pico que para el ejemplo se determinó de: 18 PM - 21 PM.

Con estas especificaciones técnicas se debe determinar la marca y modelo de la OLT y de esta forma dimensionar el número de equipos necesarios para brindar servicio. Para el ejemplo se seleccionó la marca Huawei, modelo MA5800-X17; por tanto, se va a necesitar 3 OLT y 41 tarjetas de 16 puertos PON modelo H902GPHF (Huawei Technologies, 2018).

Identificación y segmentación de tráfico OLT

Para fácilmente identificar el tráfico de datos a que zonas o barrios pertenecen se debe segmentar los puertos PON de las tarjetas. Es decir que cada puerto PON debe contener solo el tráfico de datos de una zona o barrio, sin que este esté mezclado con otros barrios. Es muy común encontrar en los diseños de los ISP, con el fin de utilizar toda la capacidad del nivel de splitteo, que en un puerto PON se encuentra tráfico de distintas zonas o barrios que no están cercanos unos de los otros; esto conlleva que cuando existe problemas en el servicio, por congestión de tráfico, no se puede identificar con exactitud el puerto PON afectado.

Adicional a esto se debe prever el crecimiento de abonados FTTH, determinado para el ejemplo recurrente en este documento en la sección 3.3, para dejar el siguiente puerto PON libre. Esto se muestra a continuación y en la Figura 9:

#Abonados puerto PON1 = 64 (Zona X)

#Abonados_{proy} (Zona X) = #Abonados puerto PON1 · Co_{FTTH}

#Abonados_{proy} (Zona X) = 64 · 1,82

#Abonados_{proy} (Zona X) = 116,48 = 117

Por tanto,

#Abonados puerto PON2 = 53 (Zona X_{proy}); quedarían 11 abonados para Co_{BW}.

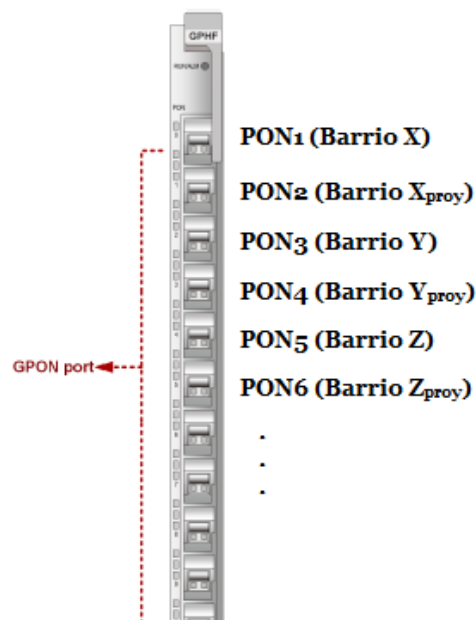


Figura 9 – Identificación y segmentación de tráfico

Cálculo parámetros técnicos ONT

Para el ejemplo que se ha venido utilizando en el presente documento se realizara la determinación de especificaciones técnicas con un enfoque al manejo del tráfico de datos (QoS) (Huawei Technologies, 2019):

1. Standard: ITU-T G.984.2 Class B+.
2. Alance máximo: 20 km.
3. Sensibilidad de recepción: -27 dBm.
4. Mapeo flexible entre puertos GEM y T-CONT.
5. Modo BW map: SR-DBA (Status Reporting - Dynamic Bandwidth Allocation) y NSR-DBA (Non Status Reporting - Dynamic Bandwidth Allocation).
6. Limitación de velocidad: Puertos Ethernet y Paquetes Broadcast.
7. Método de descongestión de tráfico en cola: SP (Strict Priority) y WRR (Weighted Random Robin).

Con estas especificaciones técnicas se debe determinar la marca y modelo de la ONT. Para el ejemplo se seleccionó la marca Huawei, modelo HG8045H (Huawei Technologies, 2018).

La sensibilidad de recepción mínima se ha determinado en -27 dBm y el alcance máximo de 20 km – que son parámetros de fábrica – sin embargo, para el despliegue de la red FTTH-GPON no se recomienda trabajar con los valores extremos de funcionamiento para de esta forma evitar posibles deficiencias en el servicio, especialmente en horas pico de tráfico de datos, por colisiones o pérdidas de paquetes de datos.

El valor recomendado de presupuesto óptico teórico es de 25 dB y la distancia máxima recomendada se lo determinara en el próximo subcapítulo (Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP., 2013).

4.2. Dimensionado de especificaciones técnicas ODN

Cálculo parámetros ODN

En este subcapítulo se va a realizar el desglose del presupuesto óptico teórico de la ODN y el cálculo de las distancias máximas de la red: troncal, distribución y dispersión; para un nivel de splitteo 1:64. Para esto, en la Figura 10, se determinó la arquitectura y sus componentes.

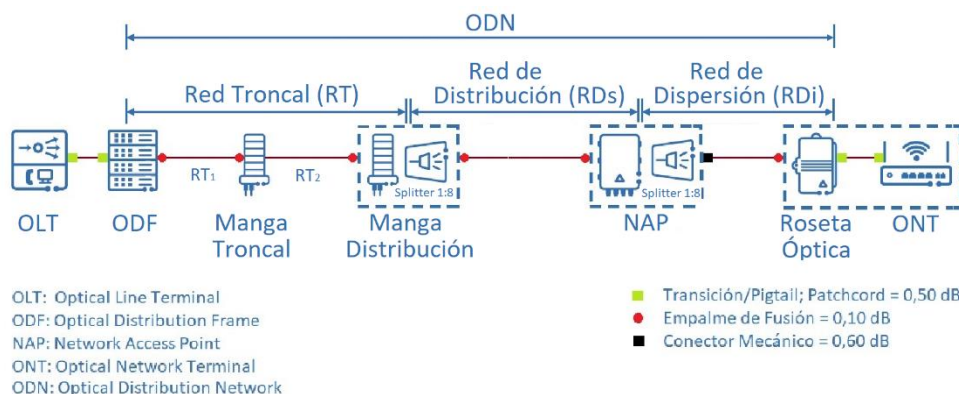


Figura 10 – Arquitectura y componentes ODN

En la Tabla 4 se puede visualizar, desglosado por elemento, el presupuesto óptico teórico. Se puede observar que la pérdida de potencia total, sin el cálculo de las distancias, es de 22,70 dB; por consiguiente, al haber establecido un presupuesto óptico máximo de 25 dB, se tiene 2,30 dB para poder dimensionar las longitudes de los cables.

Para mantenimiento preventivo y correctivo se recomienda que la Red de Dispersión (RDi) tenga como longitud máxima 250 m.

Para la Red Troncal (RT), las longitudes de las bobinas de fibra óptica son generalmente de 4000 m, considerando que para el ejemplo que se ha venido usando en este documento la Oficina Central o Distribuidor se encuentra alejado del sector donde se quiere brindar el servicio, por tanto, se estableció una longitud máxima de la red troncal (RT1) de 4000 m. Para la extensión de la red troncal (RT2), entre la manga troncal y la de distribución, se estableció una longitud máxima de 1000 m.

Se sabe,

Pérdida por km de longitud de cable en 1310 nm: 0,35 dB

dB restantes para cumplir el máximo = 2,30 dB

Km de Cable ODN = dB restantes/Pérdida por km 1310 nm

Km de Cable ODN = 2,30 dB/0,35 dB

Km de Cable ODN = 6,57 km

En donde,

RDi = 0,25 Km

RT = RT1 + RT2

RT = 4,00 Km + 1,00 Km

RT = 5,00 Km

Tabla 4 – Presupuesto óptico teórico para un nivel de splitteo de 1:64 (Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP., 2013)

Nombre	Tipo	Loss (dB)	Cantidad	Total Loss (dB)
<i>Punto de Conexión</i>	Pigtail/Patchcord	0,50	4,00	2,00
	Empalme Fusión	0,10	6,00	0,60
	Conector Mecánico	0,60	1,00	0,60
<i>Splitter Óptico</i>	1:2	3,25		
	1:4	6,50		
	1:8	9,75	2,00	19,50
	1:16	13,00		
	1:32	16,25		
	1:64	19,50		
<i>Cable Óptico</i>	1310 nm (dB/Km)	0,35	RT+RDs+RD _i	
	1490 nm (dB/Km)	0,30		
	1550 nm (dB/Km)	0,25		
Total				22,70

Por tanto,

$$\text{Km ODN} = \text{RT} + \text{RDs} + \text{RD}_i$$

$$\text{RDs} = \text{Km ODN} - \text{RT} - \text{RD}_i$$

$$\text{RDs} = 6,57 \text{ Km} - 5,00 \text{ Km} - 0,25 \text{ Km}$$

$$\text{RDs} = 1,32 \text{ Km}$$

Cálculo parámetros Red Troncal (RT)

Para dimensionar la capacidad del cable(s) de fibra óptica troncal(es) se debe partir del dato de números de puertos PON calculados en la sección 3.7. Para el ejemplo del documento esto se puede observar a continuación:

$$\# \text{Hilos}_{\text{proy}} \text{ de fibra (RT)} = \# \text{Puertos PON}$$

$$\# \text{Hilos}_{\text{proy}} \text{ de fibra (RT)} = 612$$

Para poder determinar el número de cables troncales se debe segmentar por sectores, de acuerdo de su distancia respecto a la Oficina Central o Distribuidor, para determinar el número de cables troncales.

Para el ejemplo del documento, a la parroquia Cumbayá, se lo dividió en 5 sectores: Miravalle, Jacaranda, Cumbayá Central, San Juan de Cumbayá y La Primavera, como se muestra en la Figura 11.

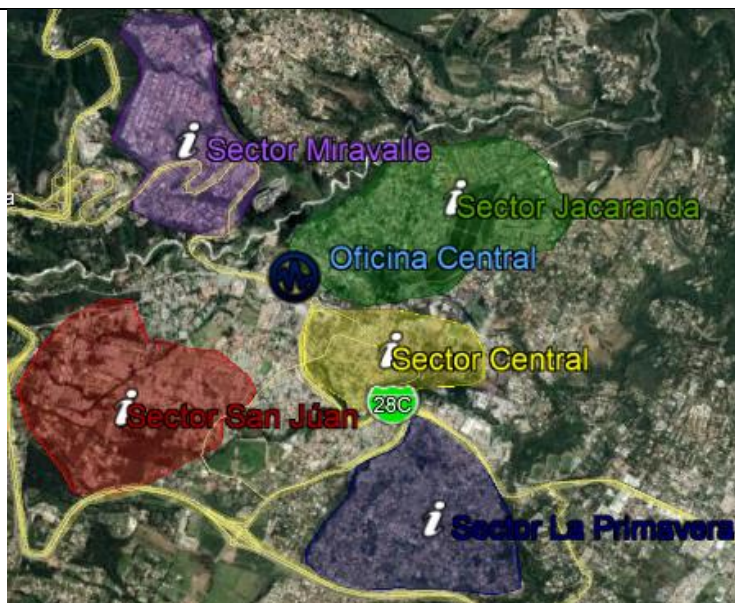


Figura 11 – Segmentación de sectores con Google Earth

Con los resultados arrojados del procesamiento de las encuestas, en la sección 3.5, de población actual por cada sector y su factor de crecimiento de abonados FTTH se determina el siguiente cálculo:

$$\#Capacidad_{\text{proy}} \text{ por Cable (RT)} = \frac{\#Hilos_{\text{proy}} \text{ de fibra (RT)}}{\text{Sectores a servir}}$$

$$\#Capacidad_{\text{proy}} \text{ por Cable (RT)} = \frac{612 \text{ Hilos}}{5}$$

$$\#Capacidad_{\text{proy}} \text{ por Cable (RT)} = 122,40 \text{ Hilos (Este valor no está estandarizado)}$$

Entonces,

$$\#Capacidad_{\text{proy}} \text{ por Cable (RT)} = 144 \text{ Hilos}$$

Con estos resultados se necesitan 5 cables troncales con capacidad de 144 hilos cada uno. Sin embargo, de acuerdo a los resultados del procesamiento de las encuestas, en el sector de Cumbayá Central solo se necesita 96 hilos.

Por consiguiente, se tendría identificado y segmentado el tráfico de la manera que se muestra en la Figura 12.

Las especificaciones técnicas principales del cable troncal son las siguientes (Prysmian Group, 2012):

1. Uso: aéreo entre postes de hormigón.
2. Tipo: ADSS (All-Dielectric Self-Supporting).
3. Standard: Monomodo ITU G.652.D.
4. Vano máximo: 120 m.
5. Protección de chaqueta dieléctrica.
6. Radio máximo de curvatura: 252 mm.
7. Rango de temperaturas de trabajo: -40°C a +70°C.

En la Figura 13 se puede observar que la capacidad del cable de la Red de Distribución es de 16 hilos: 8 para dar servicio para los abonados actuales y 8 para crecimiento de abonados. Sin embargo, el cable de fibra óptica no está estandarizado para esa capacidad y se tiene que escoger la capacidad de cable siguiente.

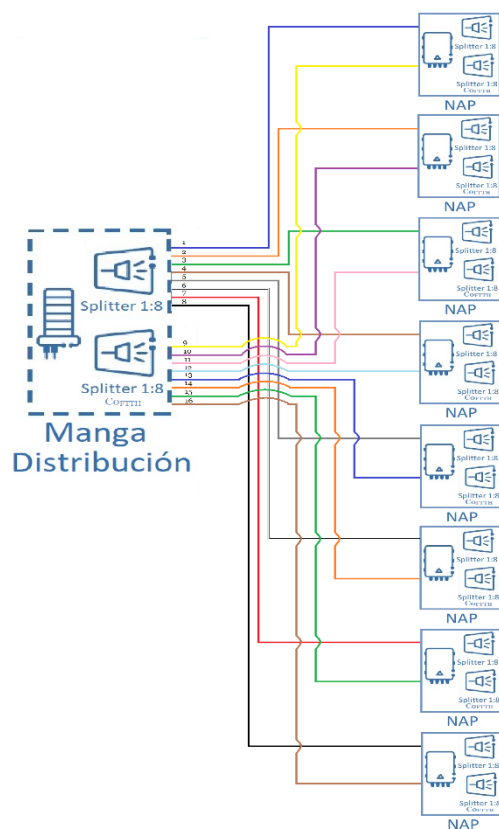


Figura 13 – Dimensionado de la Red de Distribución (RDs)

Por tanto,

#Capacidad_{proy} por Cable (RDs) = 24 Hilos

Los 8 hilos sobrantes quedaran de reserva en la Manga de Distribución como hilos redundantes para solventar daños en el cable si es que se llegaran a presentar.

Las especificaciones técnicas principales del cable de distribución son las mismas determinadas para el cable troncal.

5. Conclusiones

En el desarrollo del presente documento se puede observar que la determinación de las especificaciones técnicas del equipamiento de la red FTTH-GPON se basa en dimensionamientos adecuados para el manejo y crecimiento de tráfico de datos; partiendo de cálculos con datos reales y confiables de fuentes acreditadas. Ningún parámetro técnico fue calculado de forma empírica.

El tiempo de proyección utilizado en el ejemplo de este documento se lo determinó en base a los permisos de funcionamiento que otorga el ente regulador de las telecomunicaciones a cada ISP, en este caso 3 años restantes; sin embargo si éste periodo de proyección, a criterio del ISP, es muy corto, se debe utilizar los periodos de tiempo establecidos por empresas de telecomunicaciones que realizan informes de proyecciones de crecimiento de anchos de banda

y de abonados; tal es el caso de Cisco, Alcatel-Lucent, etc.

Se puede observar que el ancho de banda promedio domiciliario actual, del ejemplo de este documento, coincide plenamente con el informe de proyección de Cisco del año 2018. Por consiguiente, las proyecciones de Co_{BW} hasta el 2022 realizadas para el dimensionado del equipamiento tienen suficiente soporte.

Para poder determinar la marca y modelo de una OLT, primeramente, debe cumplir con todas las especificaciones técnicas de manejo de tráfico de datos actuales y futuros antes que ser seleccionada por número de puertos PON y tarjetas disponibles.

La identificación y segmentación de tráfico de datos en la OLT y la ODN es de vital importancia para poder solventar, de manera oportuna y eficaz, problemas de: congestión, colisión o pérdidas de paquetes; en las distintas capas, del modelo OSI, que se puedan presentar.

6. Bibliografía

Agencia de Control y Regulación de las Telecomunicaciones ARCOTEL. (2019). Crecimiento de abonados FTTH en el Ecuador. Quito.

Alcatel-Lucent. (2014). Bandwidth demand forecasting. IEEE 802.3 NGEPON Interim meeting (págs. 1-14). Ottawa: Alcatel-Lucent.

Arris Enterprises, Inc. (2014). COMPARING IEEE EPON & FSAN/ITU-T GPON FAMILY OF TECHNOLOGIES. Suwanee: Arris Enterprises, Inc.

Azadeh, M. (2009). Fiber Optics Engineering, 1st edition, Chatsworth, California.

Cale, I., Salihovic, A., & Ivekovic, M. (2007). Gigabit Passive Optical Network - GPON. 29th Int. Conf. on Information Technology Interfaces (pág. 6). Cavtat: ITI.

Cisco. (2018). Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022 White Paper. Cisco.

Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP. (2013). Normativa Técnica para el dimensionado de una ODN. Quito.

Effenberger, F., & El-Bawab, T. S. (2009). Passive Optical Networks (PONs): Past, present, and future. Elsevier, 143-150.

Farmer, J., Lane, B., Bourg, K., & Wang, W. (2017). FTTx Networks: Technology Implementation and Operation. Cambridge, Massachusetts: Elsevier Inc.

Google. (2019). Systems Requirements - YouTube. Obtenido de <https://support.google.com/youtube/answer/78358?hl=en-GB>

Govind, P. (2010). Fiber-Optic Communication System, 4th edition, Rochester, New York.

Green, P. E. (2006). Fiber to the home: the new empowerment. Hoboken: John Wiley & Sons.

Gregory, M. A., & Abbas, H. S. (2016). The next generation of passive optical networks: A review. Elsevier, 1-20.

HighSpeedInternet. (2019). HighSpeedInternet - How much internet speed do I need? Obtenido de <https://www.highspeedinternet.com/how-much-internet-speed-do-i-need>

HighSpeedInternet. (2019). HighSpeedInternet - Internet Speed Guides. Obtenido de <https://www.highspeedinternet.com/resources/how-much-speed-do-i-need-for-pandora-and-spotify>

Hecht, J. (2015). Understanding Fiber Optics, 5th edition, Auburndale. Massachusetts.

Hood, D. (2012). Gigabit-capable passive optical networks. Hoboken: John Wiley & Sons.

- Huawei Technologies. (2017). Gigaband era. Access Solution Galaxy, 18-23.
- Huawei Technologies. (2018). HG8045H Product Description. ONT Catalog, 1-2.
- Huawei Technologies. (2018). MA5800 Product Description. OLT Catalog, 1-15.
- Huawei Technologies. (2019). GPON Tech. GPON Magazine, 1-58.
- Huawei Technologies. (2019). QoS Feature Guide. Huawei QoS, 1-139.
- Kramer, G. (2000). Design and Analysis of an Access Network. UC Davis Student Workshop on Computing '2000 (págs. 1-9). Davis: UC Davis.
- Lam, C. (2007). Passive optical networks: principles and practice. Burlington, MA: Elsevier Inc.
- Loayza, P., Guaña, E., & Parra, F. (2019). Metodología de levantamiento de información para el diseño de redes FTTH-GPON con enfoque QoS, 1-12.
- Loayza, P., Guaña, E., & Parra, F. (2019). Técnicas de diseño de redes FTTH-GPON para la segmentación y alivianamiento de tráfico de datos, 1-15.
- Microsoft. (2019). Skype- Help. Obtenido de <https://support.skype.com/en/faq/FA1417/how-much-bandwidth-does-skype-need>
- Microsoft. (2019). Xbox - Help. Obtenido de https://support.xbox.com/en-US/xbox-360/networking/slow-performance-solution?kbid=88468&utm_source=highspeedinternet.com&utm_medium=affiliate
- Netflix. (2019). Netflix - Centro de Ayuda. Obtenido de <https://help.netflix.com/es/node/306?ba=SwifttypeResultClick&q=ancho%20de%20banda>
- Prysmian Group. (2012). Aerial Dielectric Self Supporting cables. ADSS Datasheet, 1.
- Qi-yu, Z., Bin, L., & Run-ze, W. (2012). A Dynamic Bandwidth Allocation Scheme for GPON Based on Traffic Prediction. 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, (págs. 2043-2046). doi:10.1109/fskd.2012.6234355
- Smith, T. G., Hinton, K., & Tucker, R. S. (2011). Delay and Jitter in Long-Reach GPON. 16th Opto-Electronics and Communications Conference, OECC, (págs. 184-185). Kaohsiung. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/6015074>
- Smith, T. G., Tucker, R. S., Hinton, K., & Tran, A. V. (2009). Packet delay variance and bandwidth allocation algorithms for extended-reach GPON. 14th OptoElectronics and Communications Conference, (págs. 1-2). Melbourne. doi:10.1109/oecc.2009.5222078



Yo, EDISON JAVIER GUAÑA MOYA portador de la C.I. 171326536-9 en mi calidad de Tutor del trabajo de investigación titulado: DISEÑO DE REDES FTTH-GPON CON ENFOQUE QoS elaborado por el Sr. PABLO ANDRÉS LOAYZA VALAREZO, estudiante de la Maestría en TELEMÁTICA Mención: CALIDAD EN EL SERVICIO de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL), para obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado el trabajo de titulación de grado, la apruebo en todas sus partes.

Quito, 31 de agosto 2019
Lugar y fecha

Firma