

Recibido: 21 de Julio 2020 / Aceptado: 24 de Septiembre 2020 / Publicado: 01 de Enero 2021

Sección: Ciencias de la Ingeniería

Artículo de Investigación Original

<https://doi.org/10.55204/trc.v1i1.4>

Red FTTH utilizando tecnología ITU G984.x para la migración de una red ADSL en la ciudad de Alausí.

FTTH network using ITU G984.x technology for the migration of an ADSL network in the city of Alausí

Danny Alejandro León Vilema^{1[0000-0003-4320-572X]}, Oswaldo Geovanny Martínez Guashima^{1[0000-0001-9018-7777]}

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador

¹{alejandro.leon, omartinez}@esPOCH.edu.ec

Resumen. El objetivo de la investigación fue diseñar una Red Óptica Pasiva con capacidad de Gigabit (GPON) para migrar una red ADSL a la tecnología FTTH, se utilizó la normativa vigente ITU G 984.X para proveer los servicios de voz, video y datos en la ciudad de Alausí. Se investigó los sistemas y tecnologías de las comunicaciones ópticas, asimismo se analizó las Redes FTTx lo que permitió determinar la mejor arquitectura para la nueva infraestructura de red. Se efectuaron las pruebas respectivas para comprobar el funcionamiento de la red mediante cálculos teóricos y el empleo del Software Optisystem. Los resultados obtenidos se basan en el análisis del usuario más cercano y el usuario más lejano considerando parámetros como el presupuesto de enlace, factor Q y mínimo de BER los que resultaron satisfactorios pues se cumple con los parámetros estipulados por la norma ITU G984.2. Se concluye que la Red de acceso GPON para la ciudad de Alausí es flexible, escalable, viable y presenta un ancho de banda admisible para dar el servicio de voz, video y datos.

Palabras Clave: Normativa ITU G984.X, red óptica pasiva con capacidad de gigabit, presupuesto óptico.

Abstract. This research was aimed to design a Passive Optical Network with Gigabit capacity (GPON) to migrate an ADSL network to FTTH, the current ITU G 984.X regulations were used to provide voice, video, and data services in Alausí city. In addition, optical communications systems, and technologies FTTx Networks were also analyzed, which made it possible to determine the best architecture for the new network infrastructure. First, an analysis of the existing network in Alausí city was made for the development of the project, and later the GPON network design was drawn up, which is made up of the feeder network, distribution network, and dispersion network. Finally, the respective tests were carried out to verify the operation of the network through theoretical calculations and the use of the Optisystem Software. The obtained results in this project are based on the analysis of the closest user and the remote user considering parameters such as link budget, quality factor, and minimum BER, which were satisfactory because they meet the established parameters by the ITU G984.2 standard. It is concluded that the GPON access network in Alausí city is flexible, scalable, viable, and has an admissible bandwidth to provide voice, video, and data services.

Keywords: ITU G.984.x standard, passive optical network with gigabit, optical budget.

Como Citar (APA): León Vilema, D. A., & Martínez Guashima, O. G. (2021). Red FTTH utilizando tecnología ITU G984.x para la migración de una red ADSL en la ciudad de Alausí. *Tesla Revista Científica*, 1(1), 34–53. <https://doi.org/10.55204/trc.v1i1.4>



Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras.

INTRODUCCIÓN

Dado que en la actualidad se necesita más requerimientos para poder proveer de servicios de voz, video y datos, se desarrolló este proyecto para migrar redes ADSL por redes de fibra óptica en la ciudad de Alausí, mejorando la velocidad de transmisión y calidad de servicio al usuario final.

La distribución en fibra óptica tiene muchas ventajas para el usuario, quizás las mayores se ven en ahorros relacionados con infraestructura y conductos con canalizaciones. Además, la fibra óptica brinda la seguridad de que esa red tendrá suficientes capacidades hacia el futuro. Por lo que las empresas están interesadas en implementar a sus usuarios un cambio de red ADSL a fibra óptica conservando la infraestructura ya existente, además de regirse a una normativa vigente como la ITU G984.x (Manjarrés Altamirano, 2017).

Existen diferentes maneras de acceder a Internet, entre las principales tenemos el medio físico o de cable para poder conectar los dispositivos a la red, para proveer este servicio se tienen sistemas con cobre y sistemas mediante fibra óptica, las líneas tradicionales de cobre se encuentran instaladas en los hogares y negocios alcanzando velocidades de Mbps, un sistema ADSL es utilizado para usuarios residenciales que descargan una considerable información, pero con bajos niveles de envío.

Existen diferentes normas que las series ITU recomendaron a la serie G para el uso de sistemas y medios de transmisión, como punto de partida para los sistemas de fibra óptica se definió los parámetros pertenecientes a fibras monomodo en el estándar ITU G.650, el cual hace referencia a índices de refracción a lo largo de la fibra óptica, características del material, así como sus recubrimientos tanto primario y secundario.

Dentro de esta serie se tiene la Recomendación ITU-T G.670 la cual cubre todos lo relacionado a los tipos de dispositivos ópticos, así como de los componentes a utilizar en redes de largo alcance y redes de acceso; las diferentes características de los componentes ópticos en funcionamiento, pero sin especificar las condiciones de funcionamiento del servicio, instalación. (ITU-T, 2012, p.1)

La ITU-T G.680 define las características de los sistemas ópticos como las interconexiones fotónicas, multiplexores de adición y caída, que conforman la red óptica. Esto se hace a través de una lista de parámetros que caracterizan deficiencias físicas como ruido óptico, dispersión cromática y está destinado a ser independiente de la arquitectura de la red en la que se

implementan estos servicios. (ITU-T, 2007, p.1)

Existen diferentes series que se crearon para las redes digitales como son las redes ITU-T G.700 y la ITU G.800 la cuales definen una arquitectura funcional unificada para redes de transporte que utilizan tanto conmutación por circuitos como por paquetes; es decir describe la red de comunicaciones como una red de transporte con referencia a la capacidad de transferencia de información.

Con las Recomendaciones en la serie G.980 se describe a una red flexible de fibra la cual pueda proveer los diferentes servicios tanto voz, video y datos a sectores empresariales, particulares abarcando velocidades de 1.2 Gbit/s y 2.4 Gbit/s en downlink; y de 155 Mbits/s; 622 Mbit/s, 1.2 Gbits/s y 2.4 Gbit/s en uplink, En esta normativa se describen los sistemas simétricos y asimétricos con las diferentes características generales de los sistemas basándose en las necesidades del usuario. ((ITU-T, 2007, p.2)

La red con normativa ITU G.984 o llamadas GPON es una tecnología que admiten los diferentes servicios con una red de alta velocidad que permitirá a los proveedores de internet maximizar el valor de sus activos, incorporando nuevos clientes y manteniendo los actuales ofreciendo más servicios y de mejor calidad a precios competitivos. (Quisnancela & Espinosa, 2016, p.18)

La utilización de los sistemas pasivos reduce los costos y mantenimientos de la red además de ayudar en el llamado embotellamiento de la red, con los cuales se puede crear troncales de velocidad de acceso con diferentes topologías tales como anillo y estrella; además de esto esta tecnología tiene que ofrecer escalabilidad en las tecnologías futuras.

Las redes GPON en Latinoamérica han incrementado considerablemente con los despliegues de redes FTTx las cuales se, siendo un principal impulso la competencia entre compañías por abarcar más usuarios. Las redes GPON ha obtenido un 95% de penetración mientras que redes Ethernet tan solo con un 5%. (Pro, 2017, p.1)

En Ecuador tenemos el servicio fijo de internet a través de redes FTTH como el principal proveedor a CNT E.P, el cual es un operador publico ecuatoriano con un 48.9%, seguidos bajo el prestador Megadatos, que opera bajo la marca comercial Netlife con un 14.18%, luego le sigue TVCABLE con un 11.65% y por último Claro con el 9.22%. (ARCOTEL, 2019, p.15)

La provincia de Chimborazo tiene cobertura de las ya mencionadas compañías, pero se destaca CNT E.P con la mayor cantidad de usuarios en la ciudad de Riobamba. En la ciudad de

Alausí se va a optar por realizar el diseño y evaluación ya que esta no cuenta con el enlace de fibra óptica en la zona urbana.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización de la Zona y Zonificación del sector.

Para identificar la ciudad donde se va a emplear la red FTTH, se acudió hasta el lugar para la obtención de la información de la red actual como se observa en la Fig1, para posteriormente la etapa de diseño de la nueva infraestructura de red GPON.

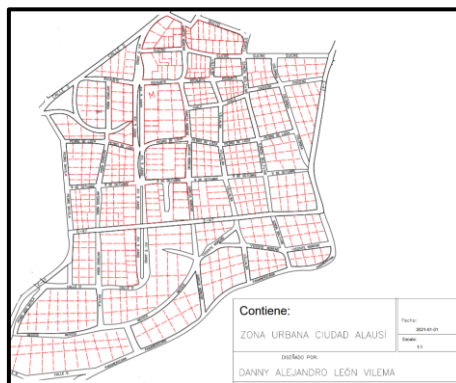


Figura 1. Planimetría de la Ciudad de Alausí.

Elaborado por: Los Autores

Para determinar las diferentes zonas a dividir dentro del diseño, se estableció un área de cobertura, en ciudades definiendo polígonos de hasta 250m y en territorio rural de hasta 500m. En la Figura 2 se determinó:

- Polígono I, II con una longitud desde el centro hasta sus lados de 200m.
- Polígono III, IV con una longitud desde el centro hasta sus lados de 250m.

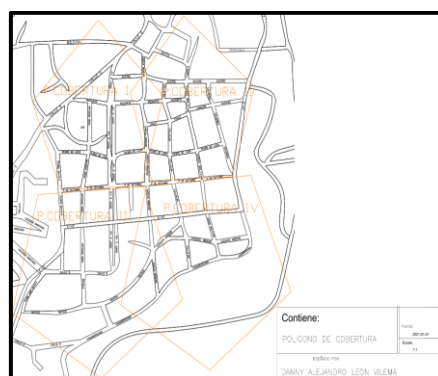


Figura 2. Polígonos de Cobertura.

Elaborado por: Los Autores

Una vez identificados los polígonos en el diseño se trabajó con 4 zonas anteriormente determinadas. En la Figura 3 se muestra de mejor forma la zonificación, así como el número de manzanas con las que cuenta la zona urbana de Alausí, cabe recalcar que algunas manzanas no fueron tomadas en cuenta ya que corresponden a estadios o parques o sitios turísticos los cuales no necesitan redes FTTH.

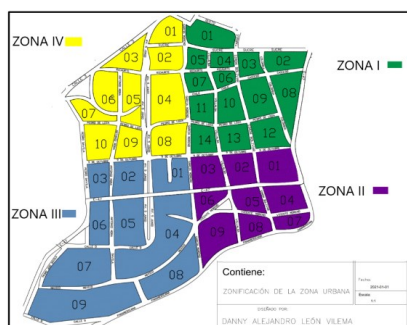


Figura 3. Zonificación de la Ciudad de Alausí.

Elaborado por: Los Autores

2.2 Población, demanda del sector.

Para determinar los diferentes usuarios finales que se encuentran en la actualidad se recorrió la ciudad de Alausí determinando el número de viviendas habitadas en las diferentes zonas de estudio. En la tabla 1 se identificó los posibles usuarios finales de acuerdo con las zonas previamente establecidas.

Tabla 1. Viviendas Por Zona

| Zona | Número de Viviendas |
|--------|---------------------|
| Zona 1 | 223 |
| Zona 2 | 122 |
| Zona 3 | 185 |
| Zona 4 | 188 |
| Total | 718 |

Elaborado por: Los Autores

La demanda es la solicitud o petición de un cliente, buscando el servicio de fibra óptica para mejorar la calidad de servicio de este, de tal forma que se atiende los requerimientos del cliente para lograr esto se realizó recorridos de la zona. [(Pozo Sunta & Zurita Zurita,2019). Se estableció los posibles clientes potenciales, los cuales pueden adquirir los servicios de voz, video y datos con la red de fibra óptica. De acuerdo con el número de viviendas contabilizadas en la ciudad se procedió al cálculo de la demanda del sector. Este cálculo se realizó para una

proyección de 10 años y con el crecimiento anual de 0.8% según el INEC. La fórmula de la demanda Total se indica en la Ecuación (1).

$$Df = D_o \times (1 + i)^n \quad (1)$$

Donde Df = Demanda final; D_o = Demanda Inicial; i = Índice de crecimiento anual;
 n = El tiempo de proyección estimado en años.

$$Df = 718 \times (1 + 0.008)^{10}$$

$$Df = 778$$

En la zona urbanística de Alausí se realizó un número considerable de encuestas para saber las necesidades y requerimientos para los usuarios finales, se obtuvo a través de una muestra aleatoria simple dada por la Ecuación (2).

$$n = \frac{718}{e^{2(N-1)+1}} \quad (2)$$

$$n = \frac{718}{(0.05^2(718-1)+1)}$$

$$n = 257.11$$

Se determinó que se deben realizar 257 encuestas a los usuarios finales de cada zona residencial.

Después de realizar las encuestas a todos los clientes potenciales se conoció los requerimientos de cada uno de ellos pues así el 58.37% de encuestados dispone de la tecnología por conexión de cobre (ADSL) y el 95.33% de personas encuestadas estaban dispuestas a pagar por un servicio de fibra óptica que le provea una mayor velocidad de internet; evidenciando que se necesita un cambio de Tecnología en este caso FTTH que es la más apropiada para la contratación de servicios de voz, video y datos. Todos los datos obtenidos respaldan que la zona urbana de Alausí necesita la migración de los servicios a redes que convergen con las futuras tecnologías.

2.3. Simbología de la Red

Para el diseño de fibra óptica se utilizó diferentes planos en los cuales es muy importante ocupar símbolos que identifiquen los elementos que se van a ubicar, tanto en planta interior y exterior.

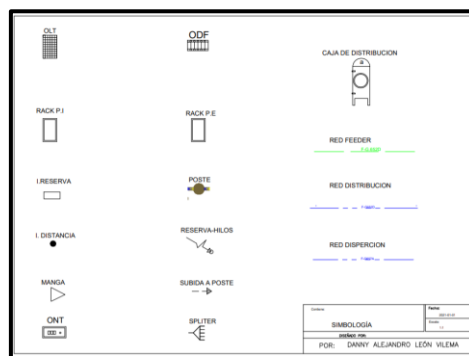


Figura 4. Simbología
Elaborado por: Los Autores

Como se observa en la Figura 4 entre los principales se determinó la OLT, el ODF, los RACKS, Identificadores de reserva para el tendido de fibra óptica, los postes que se encuentran en la ciudad de Alausí, los identificadores de distancia para saber cuánta fibra se ocupó en el diseño de la red, la reserva de los hilos que se obtuvo en el tendido de la red, la manga, el símbolo de subida a poste, los splitter y las fibras que están presentes en cada uno de estos, las diferentes cajas de distribución, también se contó con la simbología para las redes feeder, distribución, dispersión y las ONT que se ubicó al final de la red es decir en el usuario final. Para el diseño de la red se definió las nomenclaturas tanto para la red feeder, distribución como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2: Nomenclatura De La Red Feeder Y Distribución

| <i>XXX.FT01_00_00(XXX) (X..XX)</i> | <i>XXX.FD01_00_00(XXX) (X..XX)</i> |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <i>XXX: Código Central de Telecomunicaciones.</i> | <i>XXX: Código Central de Telecomunicaciones.</i> |
| <i>FT01: Fibra Troncal</i> | <i>FD01: Fibra de Distribución</i> |
| <i>01: Número de fibra troncal</i> | <i>01: Número de fibra de distribución</i> |
| <i>00: Primera Derivación</i> | <i>00: Primera Derivación</i> |
| <i>00: Segunda Derivación</i> | <i>00: Segunda Derivación</i> |
| <i>(XXX): Capacidad del Cable</i> | <i>(XXX): Capacidad del Cable</i> |
| <i>(X..XX) Hilos Activos</i> | <i>(X..XX) Hilos Activos</i> |

Elaborado por: Los Autores

Para la red de distribución se obtuvo cambios importantes en la nomenclatura ya que esta es la que llega al usuario final como se indica en la Tabla 3.

TABLA 3: Nomenclatura de la red de dispersión

| <i>XXX.FT01_MT01_A1_R01</i> |
|-------------------------------------------------------------|
| <i>XXX: Código Central de Telecomunicaciones.</i> |
| <i>FT01: Fibra Troncal</i> |
| <i>MT01: Manga Principal a la que pertenece la Red.</i> |
| <i>A01: Caja a la que pertenece la fibra del cliente.</i> |
| <i>R01: Puerto que ocupa el cable del cliente en la NAP</i> |

Elaborado por: Los Autores

2.4. Creación de Bloques en Software

Se definió atributos para cada símbolo que se encuentra en el diseño como se muestra en la Figura 5, cada atributo ayudó a comprender mejor cada elemento ubicado en la zona de estudio. Se detalló los diferentes atributos, así como todos los parámetros.

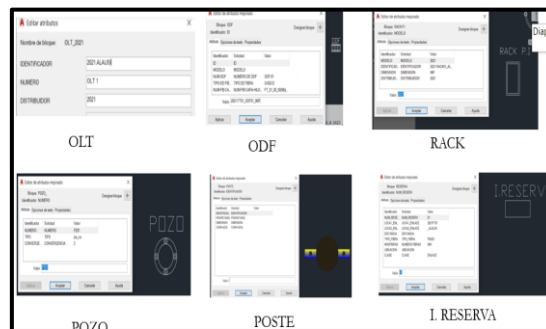


Figura 5. Bloques y atributos.

Elaborado por: Los Autores

Se realizó un bloque para determinar las distancias finales de cada red ya sea feeder, distribución o dispersión como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Identificadores de Distancia.

Elaborado por: Los Autores

Para cálculo de la distancia final de este diseño se determinó la ecuación (3).

$$DF = (dr + (nr * mr)) * 1.05 \quad (3)$$

Donde: DF = es la distancia final; dr = es la distancia de la red; nr = es el número de reservas que dispone la red a calcular; mr = son los metros de la reserva 1.05 es un valor constante que indica un factor de error en caso de que se realice alguna curvatura en la red en el momento de implementar.

2.5 Topología de la Red y Ancho de Banda.

Para esta red de fibra óptica se optó por una arquitectura punto a multipunto, esta es más conocida como la topología tipo árbol, es utilizada en la actualidad debido a que para redes FTTH es de bajo costo y ofrece una gran calidad de servicio al usuario final (Quisnancela, & Espinosa, 2016)..

Como se observa en la Figura 7 el punto de partida es la OLT, hacia el splitter primario, posteriormente al splitter secundario. Los splitter se encuentran de 1xN; donde N toma el valor de 2,4,8,16,32,64), y por último hacia el usuario final llamado ONT.

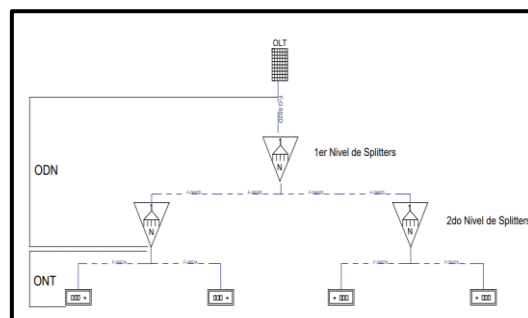


Figura 7. Topología de la red de fibra óptica.

Elaborado por: Los Autores

Para determinar el ancho de banda requerido para el servicio de voz video y datos se verificó la capacidad de estos, es decir cuál es el ancho de banda requerido. En la tabla 4 se describe más a detalle cada uno de los servicios.

Tabla 4 Ancho de Banda Requerido

| Servicios | Ancho de Banda Requerido |
|------------|--------------------------|
| Telefonía | 0.064 Mbps |
| Datos | 3 Mbps |
| Televisión | 10 Mbps |
| Total | 13.064 Mbps |

Elaborado por: Los Autores

Se determinó que se necesita un total de 13.064 Mbps para ofrecer un buen servicio a los usuarios finales.

Una vez establecido el ancho de banda requerido se realizó el cálculo para determinar que el diseño cubra las necesidades de los clientes como se muestra en la Ecuación (4). El ancho de banda según la tecnología GPON para downstream es de 2.5 Gbps y para upstream es de 1.25Gbps. Por lo que el primer nivel de splitter es de 1:4, y el segundo nivel de splitter de 1:16.

$$AB = AB(GPON) \times NIVEL SPLITTER \quad (4)$$

Para downstream:

$$AB = 2.5Gbps \times \frac{1}{64}$$

$$AB = 39.06 \text{ Mbps}$$

Para upstream:

$$AB = 1.25Gbps \times \frac{1}{64}$$

$$AB = 19.53 \text{ Mbps}$$

Se pudo determinar que en downstream se tiene un ancho de banda final de 39.06 Mbps y para upstream 19.53 Mbps, que es mayor al ancho de banda requerido de 13.06 Mbps.

2.5 Red Feeder, Distribución y Dispersión.

Red Feeder

Para el diseño de la red de fibra óptica hacia el hogar se tomó en cuenta las diferentes zonas mencionadas de acuerdo con el número de manzanas y reservas de cable para posibles mantenimientos e incremento de usuarios (Villacrés Valverde, & Muriel Bonilla, 2016).



Figura 8. Red Feeder.

Elaborado por: Los Autores

En la Figura 8 se muestra al Cable Feeder en este caso es uno de 8 buffers, cada buffer con 12 hilos dando un total de 96 Hilos los cuales son alimentados desde la OLT que se encuentra en las calles Simón Bolívar y 9 de octubre, la cual se dirige hasta las calles Antonio Mora y 9 de octubre se diseñó un tendido aéreo es decir por los diferentes postes de la zona urbana de la ciudad de Alausí.

De acuerdo con la zonificación mencionada anteriormente, se ubicó diferentes Mangas Porta Splitter para el primer nivel a lo largo de la red troncal.

Como se indica en la Tabla 5 existen cuatro mangas porta splitter a lo largo de la red troncal con un nivel de splitteo de 1/4.

Tabla 5: Mangas troncales

| Zona | Manga | Splitter Primario | Distancia OLT-Mangas |
|------|-------|-------------------|----------------------|
| 1 | MT01 | 1/4 | 73m |
| 2 | MT02 | 1/4 | 127m |
| 3 | MT03 | 1/4 | 226m |
| 4 | MT04 | 1/4 | 327m |

Elaborado por: Los Autores

Para realizar el cálculo de los splitter a utilizar en el primer nivel se procedió a la Ecuación (5).

$$\text{Splitters primarios} = \left(\frac{\text{Numero usuarios por zona}}{\text{total de division splitters}} \right) \quad (5)$$

En la Tabla 6 se encuentra el número de splitter primarios que se tiene para cada zona, cabe recalcar que se procedió al inmediato superior en caso de que la respuesta sea decimal.

Tabla 6 Splitters Primarios Por Zona

| Zona | $\left(\frac{\text{Numero usuarios por zona}}{\text{total de division splitters}} \right)$ | Splitter Primario |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1 | 223/64 | 4 |
| 2 | 122/64 | 2 |
| 3 | 185/64 | 3 |
| 4 | 188/64 | 3 |

Elaborado por: Los Autores

Para la zona I se ingresó los hilos del primer buffer de la red troncal, siendo el FT01_00_00 (96) (1..12), donde están activos 4 hilos y los demás son para la reserva en caso de un mantenimiento correctivo, de este se realizó una primera derivación FT01_01_00 (12) (1..4).

En la zona II se ingresó los hilos del segundo buffer de la red troncal, siendo el FT01_00_00 (96) (13..24), donde están activos 2 hilos FT01_01_00 (12) (1..2).

Se colocó en la zona III los hilos del tercer buffer de la red troncal, siendo el FT01_00_00 (96) (25..36), donde están activos 3 hilos FT01_01_00 (12) (1..3).

En la Zona IV se colocó los hilos del tercer buffer de la red troncal, siendo el FT01_00_00 (96) (37..48), FT01_01_00 (12) (1..3) como se observa en la Figura 9.



Figura 9. Mangas troncales en cada Zona

Elaborado por: Los Autores

2.6 Red de Distribución

Se realizó la red de Distribución desde las salidas de los splitter hasta las diferentes cajas de distribución, para este caso la relación es de 1:16. Tomando en cuenta que el nivel primario fue de 1:4 la relación total es de 1:64.

Para cada zona se utilizó diferentes códigos alfanuméricos, empezando desde la NAP más lejana, los códigos son en secuencia hasta llegar a la NAP más cercana. Se estableció las NAPs utilizadas en cada zona y se procedió al cálculo como se muestra en la Ecuación 6.

$$\text{Numero total NAPs} = \left(\frac{\text{numero de usuarios por zona}}{\text{division del segundo nivel}} \right) \quad (6)$$

Tabla 7 Número Total De Naps Por Zona

| Zona | (Número usuarios por zona) (división del segundo nivel) | Número de NAPs |
|------|------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1 | 223/16 | 14 |
| 2 | 122/16 | 8 |
| 3 | 185/16 | 12 |
| 4 | 188/16 | 12 |

Elaborado por: Los Autores

Se estableció en la Zona I las 14 NAPs las cuales poseen cada una de estas su código alfanumérico empieza desde la A1, hasta la D2 que es la más cercana a la manga (MT01), se utilizo dos buffers cada uno de estos con 12 hilos obteniendo las nomenclaturas: FD01_00_00 (12) (1..7), FD02_00_00 (12) (1..7).

Se conformo las 8 NAPs en la zona 2 las cuales poseen cada una de estas su código alfanumérico empieza desde la A1, hasta la B4 que es la más cercana a la manga (MT02). Se ha utilizado dos buffers cada uno de estos con 12 hilos obteniendo las nomenclaturas: FD01_00_00 (12) (1..4). FD02_00_00 (12) (1..4).

Se posiciono en la zona 3 las 12 NAPs cada una de estas con su código alfanumérico que empieza desde la A1, hasta la C4 siendo la más cercana a la manga (MT03). Para la red de distribución se ha utilizado dos buffers cada uno de estos con 12 hilos obteniendo las nomenclaturas: FD01_00_00 (12) (1..5), FD02_00_00 (12) (1..7).

Se posiciono las 12 NAPs de la zona IV detalladas en la Figura 10 las cuales poseen cada una de estas su código alfanumérico empieza desde la A1, hasta la C4 que es la más cercana a la manga (MT04), conformado por dos buffers cada uno de estos con 12 hilos obteniendo las nomenclaturas: FD01_00_00 (12) (1..7). FD02_00_00 (12) (1..5).

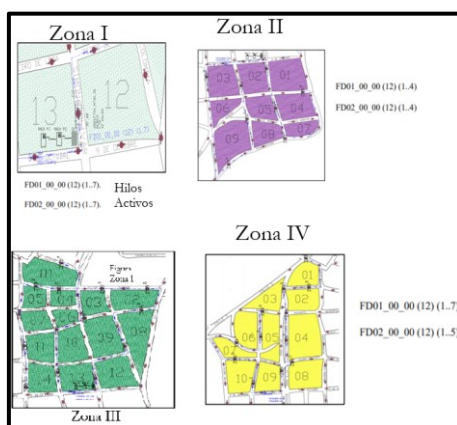


Figura 10. Red de Distribución por zonas

Elaborado por: Los Autores

2.7 Red de dispersión

Para la zona urbana de la ciudad de Alausí se ha conectado las diferentes NAPs hasta la ONT, cada splitter ubicado en la caja de distribución puede dotar de servicios hasta 16 usuarios.

En la Figura 11 se muestra la red de dispersión de las 4 zonas la cual abastece a los 718 usuarios finales los cuales tienen una red convergente hacia las futuras tecnologías GPON.

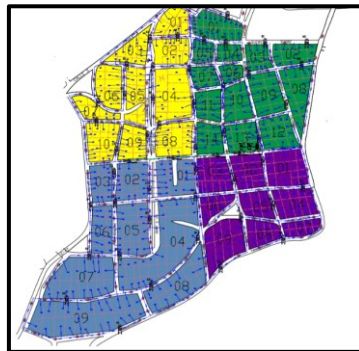


Figura 11. Red de Distribución por zonas

Elaborado por: Los Autores

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Presupuesto Óptico y Potencia de Recepción

Para la realización del presupuesto óptico se procedió al cálculo de los diferentes elementos que contienen atenuación, en la Figura 12 se detalla que los círculos rojos son las fusiones y los cuadrados verdes se presentan como empalmes, así como de las distancias de la fibra hasta el usuario final.

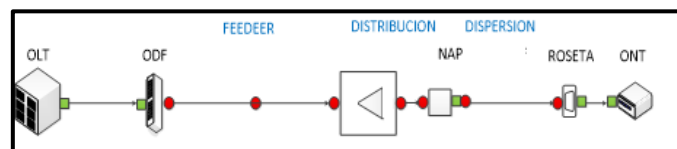


Figura 12. Modelo FTTH.

Elaborado por: Los Autores

En base al presupuesto óptico se calculó las pérdidas totales de los usuarios finales, se tomó en cuenta la distancia final como se observa en la Ecuación (7). Además de los conectores totales con una pérdida de 2.5 dB, empalmes de fusión con 0.7 dB, splitter primario con una pérdida de 7dB, secundario 14 dB.

$$DF = (dr + (nr * mr)) * 1.05 \quad (7)$$

Donde: DF es la distancia final; dr es la distancia de la red; nr es el número de reservas que dispone la red a calcular; mr son los metros de la reserva. Y el valor de 1.05 es una constante que indica un factor de error en caso de que se realice alguna curvatura en la red en el momento de implementar.

Potencia de Recepción los usuarios más lejanos y cercanos.

Para observar las diferentes potencias se calculó mediante la Ecuación (8) de cada zona determinada por: P_{RX} : Potencia de recepción en laONT; P_{TX} : Potencia de transmisión de la OLT ;L : Pérdidas totales del enlace

$$P_{RX} = P_{TX} - L \quad (8)$$

En la Tabla 8 se observa que la distancia final menor es de 0.167 km con la que se obtuvo una potencia de recepción de -17,26 dB, mientras que para la distancia final mayor es de 0.980 km con la que se calculó una potencia de recepción de -17.54 dB, todos estos valores son los óptimos para la clase C+ del estándar ITU-T G984.2 el cual posee un rango de -17dB hasta -32 dB.

Tabla 8: Potencia De Recepción En Los Casos Mas Críticos De La Ciudad De Alausi

| Zona | Usuario más cercano | | Usuario más Lejano | |
|------|---------------------|---------------|--------------------|----------|
| | Distancia | Potencia (dB) | Distancia | Potencia |
| 1 | 0.167 km | -17.26 | 0.852km | -17.5 |
| 2 | 0.257 km | -17.29 | 0.609km | -17.4 |
| 3 | 0.429 km | -17.35 | 1.04 km | -17.56 |
| 4 | 0.461 km | -17.36 | 0.98 km | -17.54 |

Elaborado por: Los Autores

Se utilizó el software OptiSystem, el cual brinda un entorno eficiente al momento de simular las redes FTTH con los diferentes parámetros tanto en la parte de los equipos activos como de los pasivos, En el desarrollo de las simulaciones se realizó la red FTTH de los dos casos más críticos es decir el usuario más cercano y lejano de cada zona, en el cual se evaluó el desempeño de la red con el estándar ITU G984.X.

3.2 Descripción de la Red GPON en Software

Para la creación de la OLT se usó dos transmisores ópticos WDM con dos longitudes diferentes una de 1490 y 1550 y un WDM Add encargado de unir estas dos señales. En el transmisor óptico WDM se debe tener en cuenta ciertos parámetros como Bit rate en el caso se colocó un valor de 1.2 Gbit/s, Power igual a 7 dBm, la Modulation fue de type: NRZ (no return to zero) y Transmitter type: EML (external modulated laser).

Por otra parte, el receptor está formado por un fotodiodo, que es el encargado de realizar la conversión óptica-eléctrica y de un filtro que se utiliza para eliminar frecuencias indeseables como ruido introducido por el fotodiodo además se utilizó un buffer selector el que almacena los datos conforme llegan a la OLT.

Al final se colocó un generador de señales y el analizador BER el que permite visualizar los datos recibidos y analizar la tasa de bits errados, adicionalmente se visualizó también el diagrama de ojo de la transmisión. Por último, se colocó un Circulator Bidireccional el que permite la unificación del transmisor y del receptor, para que sean enviadas a través de la fibra. Se realizó la Red de Distribución Óptica formado por el enlace de la fibra y splitters usados en el diseño de la red donde se colocó medidores ópticos de potencia con el objetivo de analizar la potencia final recibida en el equipo receptor ONU, además del primer nivel de splitter de 1:4, en la Red de distribución de la misma manera se tiene la fibra bidireccional hasta llegar a el splitter en este caso 1:16, luego se complementó con la red de dispersión.

En el caso de la fibra óptica se configuro la distancia, la longitud de onda de referencia en este caso se utilizó la ventana de 1310 nm ya que posee la atenuación más alta con respecto a las demás longitudes de onda con un valor de 0.35 dB. También se colocó en las entradas y salidas de la fibra óptica atenuadores para simular las pérdidas de conectores y fusiones como se observa en la Figura 13.

Se utilizó en la ONU un Photodetector PIN el cual transforma la señal óptica a una señal eléctrica, un filtro Low Pass Butterworth, un transmisor para emitir ondas a 1310 nm y Dinamic-Select que son usados para ejemplificar el acceso al medio OTDMA, enviando una parte de la secuencia de bits generado por el transmisor, trabajan de forma similar a un filtro pasa banda, pero en el dominio del tiempo.

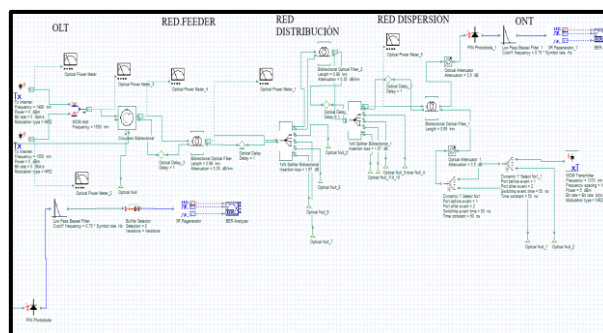


Figura 13. ConFiguración de la Red GPON

Elaborado por: Los Autores

3.3 Evaluación de la simulación

-Potencia Recibida, Factor Q y BER en usuario más cercano

Se ha definido el usuario más cercano de las cuatro zonas con respecto a la OLT, se tiene el usuario de la zona I el cual tiene una distancia de 113.8 metros, con el margen de error se obtiene 167 metros, este valor se procedió a colocar en el valor de la simulación.



Figura 14. Potencia recibida simulada del usuario más cercano

Elaborado por: Los Autores

Como se muestra en la Figura 14, en la simulación se obtuvo un valor de -17.261 dBm, similar al valor calculado de -17.26, en este caso el valor se encuentra dentro de los parámetros recomendados por el estándar (ITU G984.2) de la clase C+, el cual permite un correcto funcionamiento ya que trabaja en el rango para la ONT en este caso inferiores a -17 dBm

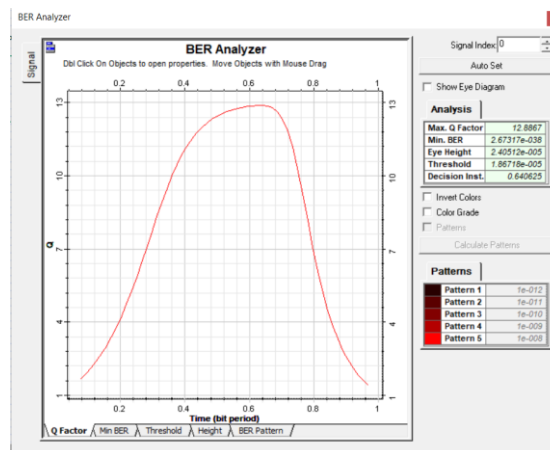


Figura 15. Factor Q y VER

Elaborado por: Los Autores

Se muestra en la Figura 15, que el factor Q es de 12.8867, dado que las recomendaciones de la normativa ITU G.984.2, se recomiendan que este valor tiene que ser igual a 6 o mayor, se está en las condiciones dentro de la calidad de conexión. (ITU-T, 2007) De igual forma el BER es de 2.67317×10^{-38} , en este caso de la ITU recomienda que puede ser igual a 1×10^{-10} o menor, esto significa que se tiene un bit errado por cada 2.67 mil millones de bits que se transmitió desde la OLT.

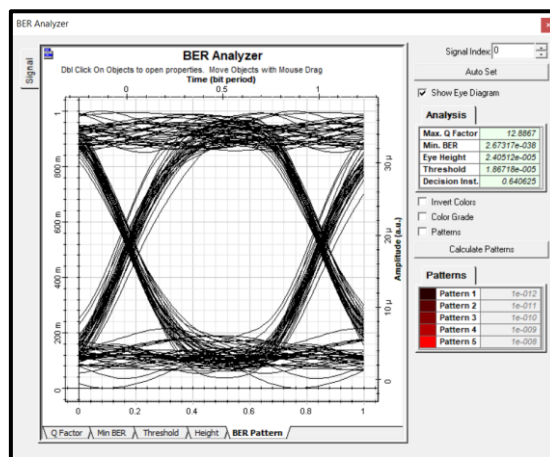


Figura 16. Diagrama de Ojo.

Elaborado por: Los Autores

En la Figura 16 el diagrama de ojo se acerca a un diagrama de ojo ideal ya que la apertura es amplia y el ruido es aceptable, dando una buena calidad de servicio a el usuario final.

-Potencia Recibida, Factor Q y BER en usuario más lejano.

En el usuario más lejano de las cuatro zonas con respecto a la OLT, se tiene el usuario de la zona III con una distancia de 931 metros y una distancia final de 1041 metros, con el cual se procedió a obtener los datos de potencia recibida.

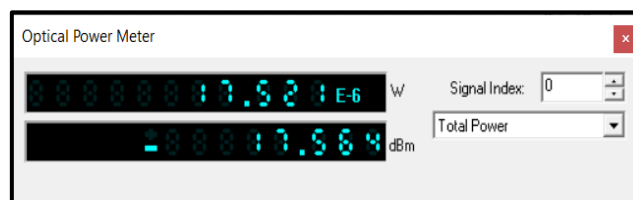


Figura 17. Potencia recibida simulada del usuario más lejano

Elaborado por: Los Autores

Como se detalla en la Figura 17, en la simulación se obtuvo un valor de -17.564 dBm, similar al valor calculado de -17.56, en este caso el valor se encuentra dentro de los parámetros recomendados por el estándar (ITU G984.2) de la clase C+, el cual permitió un correcto funcionamiento ya que trabaja en el rango para la ONT en este caso inferiores a -17 dBm.

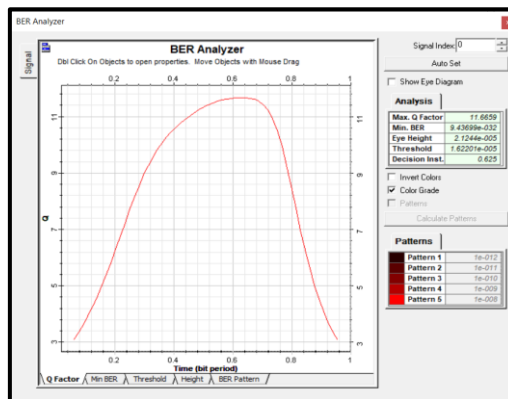


Figura 18. Factor Q y BER del usuario más lejano.

Elaborado por: Los Autores

Como se señala en la Figura 18 el factor Q es de 11.6659, dado que las recomendaciones de la normativa ITU G.984.2, recomienda que este valor tiene que de igual 6 o mayor, se está en las condiciones dentro de la calidad de conexión. De igual forma el BER es de 9.436×10^{-32} , en este caso de la ITU recomienda que puede ser igual a 1×10^{-10} o menor, esto significa que se obtuvo un bit errado por cada 0.9436 mil millones de bits que se transmitió desde la OLT.

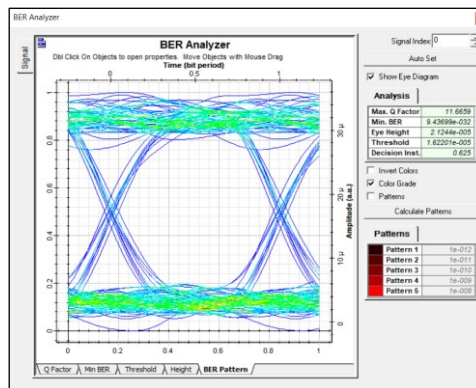


Figura 19. Diagrama ojo para usuario más lejano.

Elaborado por: Los Autores

En la Figura 19 el diagrama de ojo se encuentra con un poco más de ruido debido a la atenuación que se encuentra por la distancia ya que es considerable pero dentro de los parámetros establecidos por la normativa.

3.4 Resultados del Factor Q y BER de las zonas más cercanas y lejanas.

Tabla 9: factor Q, BER en las diferentes zonas de la ciudad de Alausí

| <i>Usuario más cercano</i> | | | <i>Usuario más lejano</i> | | |
|----------------------------|-----------------|------------|---------------------------|-----------------|------------|
| <i>Distancia</i> | <i>Factor Q</i> | <i>BER</i> | <i>Distancia</i> | <i>Factor Q</i> | <i>BER</i> |

| | | | | | |
|-----------------|---------------|------------------|-----------------|---------------|------------------|
| <i>0.167 km</i> | <i>12.886</i> | <i>2.673e-38</i> | <i>0.852 km</i> | <i>12.482</i> | <i>4.462e-38</i> |
| <i>0.257 km</i> | <i>13.090</i> | <i>1.843e-38</i> | <i>0.609 km</i> | <i>12.726</i> | <i>2.084e-38</i> |
| <i>0.429 km</i> | <i>12.911</i> | <i>1.934e-38</i> | <i>1.041 km</i> | <i>11.665</i> | <i>9.436e-38</i> |
| <i>0.461 km</i> | <i>12.879</i> | <i>2.924e-38</i> | <i>0.98 km</i> | <i>12.354</i> | <i>2.283e-38</i> |

Elaborado por: Los Autores

Dado que ya se obtuvo los diferentes valores tanto en el cálculo como en la simulación se observa que los valores son similares con un margen de error de 0.004 dBm en promedio en todas las simulaciones, En la Tabla 9 se da a conocer los resultados obtenidos del Factor Q y BER en las diferentes zonas.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un análisis de las diferentes topologías FTTx lo que permitió seleccionar la mejor arquitectura para la nueva infraestructura de red, optando así por una topología FTTH que brinda todo el despliegue de la tecnología GPON, llegando con un hilo de fibra hasta los diferentes usuarios de la ciudad de Alausí.

Se analizó las diferentes normativas de las recomendaciones ITU serie G ya que son utilizadas específicamente para redes GPON, por lo que con la ITU G 652, se dio a conocer las diferentes fibras ópticas que se encuentran para red feeder, distribución y dispersión así como las atenuaciones generadas, además de las ITU G984, con esta determinó el ancho de banda final, ya que para Downstream de acuerdo a los niveles de splitteo fue de 39.06 Mbps y para Upstream de 19.53 Mbps, cumpliendo con el ancho de banda requerido de 13.06 Mbps.

Se realizó el diseño de una red FTTH, mediante el programa AUTOCAD 2018 para la ciudad de Alausí ocupando la infraestructura actual, previamente de un estudio de la población que se encuentra en la zona urbana determinando la demanda final, de igual manera se zonifico de acuerdo al número de viviendas que se encuentran en la actualidad, pues podrá recibir mejoras en velocidad de transmisión con la tecnología de las redes GPON la cual facilitara los servicios de voz, video y datos con una velocidad, además que esta converge con futuras tecnologías.

Se determinó que la mejor opción para la red de fibra óptica es la de la clase C+ la cual permite valores entre -8 y -32dBm siendo el más optimo ya que se obtuvo una potencia de recepción entre -17 y -18 dBm, además es la que ofrece más equipos en comparación a las otras clases por ser la más actual y que se encuentra vigente dando mayor beneficio a la red.

Se evaluó con el programa OptiSystem el diagrama del ojo el cual se asemeja al ideal con un ruido casi nulo, en cuanto al factor Q factor son valores que se encuentran en 12 por lo que

cumple con la normativa ya que son mayores que 6 y en cuanto al BER son valores que están entre 9.436×10^{-32} y 1.8430×10^{-39} , estableciendo una buena calidad de servicio ya que este tiene que ser menor que 1×10^{-10} , según las especificaciones de la ITU G 984.2.

REFERENCIAS

- ARCOTEL, (2019) Boletín Estadístico Cierre 2018., pp.30. Disponible en: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-FEBRERO-2019-Cierre-2018.pdf>.
- ITU-T, (2012) G.671: Transmission characteristics of optical components and subsystems..
- Manjarrés Altamirano, H. D. (2017). *Evaluación de una red de distribución óptica utilizada en el estándar GPON G984 para medir parámetros óptimos de calidad de servicio sobre Optisystem utilizando normativa CNT*. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/7545/1/20T00916.PDF>.
- Pozo Sunta, L. F., & Zurita Zurita, K. A. (2019). *Diseño y simulación de una red de acceso 10G-PON para el sector de La Mariscal* (Bachelor's thesis, Quito, 2019.). Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec>.
- Quisnancela, E., & Espinosa, N. (2016). Certificación de redes GPON, normativa ITU G. 984. x. *Enfoque UTE*, 7(4), 16-30.. DOI 10.29019/enfoqueute.v7n4.111.
- Telecommunication Standardization Sector Of ITU (ITU-T), (2007) Physical transfer functions of optical network elements ITU-T Recommendation G.680..
- Villacrés Valverde, J. C., & Muriel Bonilla, A. G. (2016). *Estudio y diseño de una red de planta externa de fibra óptica GPON para proveer servicios de voz, video y datos aplicado a la ciudad de Alausí para la CNT Empresa Pública Riobamba* (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/5462>.

FINANCIACIÓN

Los autores no recibieron financiación para el desarrollo de la presente investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los Autores declaran que no existe conflicto de intereses

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

| Autor | León Vilema, D. A. | Martínez Guashima, O. G. |
|---------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------|
| Participar activamente en: | | |
| Planificación y diseño | X | X |
| Adquisición de fondos | X | X |
| Administración del proyecto | X | X |
| Redacción –borrador original | X | X |
| Redacción –revisión y edición | X | X |
| Interpretación y validación de resultados | X | X |
| La discusión de los resultados | X | X |
| Revisión y aprobación de la versión final del trabajo. | X | X |

RECONOCIMIENTO A REVISORES:

La revista reconoce el tiempo y esfuerzo del editor Juan Carlos Santillán L., y de revisores anónimos que dedicaron su tiempo y esfuerzo en la evaluación y mejoramiento del presente artículo.