

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

DISEÑO DE MIGRACION DE RED DE ACCESO DE RADIO ENLACE A  
FTTH PARA LA EMPRESA INSYSRED.

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero en Telecomunicaciones**

Presentado por:

Iván Eduardo Coello Rodríguez

Héctor Alexis Soto Carrasco

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi querida madre que durante tantos años me ha impulsado y en los peores momentos de mi vida me ha alentado a seguir adelante teniendo éxito en mi vida estudiantil. A mi segundo padre, mi querido abuelo que partió hace muchos años, y que en estos momentos estaría muy feliz de compartir este logro conmigo.

Héctor Alexis Soto Carrasco

Dedico este proyecto integrador a Dios y a mis padres, con una mención especial a mi madre, Marlene Rodríguez Aguiar, puesto que sus enseñanzas me han formado como la persona y profesional que soy. En sus reglas, obligaciones y libertades, encontré la motivación para alcanzar mis metas y cumplir mis sueños. A mi tía Olga Rodríguez Aguiar quien siempre deseo verme terminar esta meta con éxito, y aunque no este con nosotros ahora siempre la recordaré.

Ivan Eduardo Coello Rodríguez

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi querida madre por el apoyo incondicional, por su paciencia, sin tu apoyo no hubiese sido posible culminar mi carrera. Al ing. Alfredo Núñez por permitirme realizar la tesis bajo su tutoría, aceptando las críticas necesarias para poderme forjar y tener éxito en el trabajo.

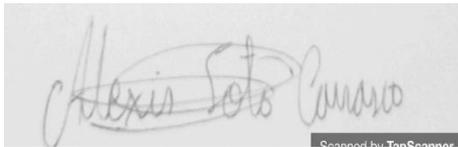
Héctor Alexis Soto Carrasco

Primero a Dios y a mis padres, gracias por no rendirse aun con nuestras limitaciones, su apoyo y empuje fueron determinantes para finalizar mi carrera universitaria. Al ing. Alfredo Núñez, profesor, tutor y amigo, quien siempre supo compartir su conocimiento como un verdadero líder, siempre enseñando con el ejemplo. A mis amigos y futuros colegas por el apoyo que nos brindamos durante toda nuestra trayectoria académica, aun en tiempos de pandemia, siempre juntos hasta el final.

Ivan Coello Rodríguez

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Héctor Alexis Soto Carrasco, Iván Eduardo Coello Rodríguez* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

A scanned image of a handwritten signature in black ink. The signature reads "Héctor Alexis Soto Carrasco". There is a small, faint watermark at the bottom right of the image that says "Scanned by TopScanner".

---

Hector Alexis Soto  
Carrasco

A scanned image of a handwritten signature in blue ink. The signature is stylized and appears to read "Iván Eduardo Coello Rodríguez".

---

Ivan Eduardo Coello  
Rodriguez

# EVALUADORES

---

**ALFREDO JOSE NUNEZ UNDA**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**ALFREDO JOSE NUNEZ UNDA**

PROFESOR TUTOR

## **RESUMEN**

En la actualidad la navegación de los usuarios en internet ha incrementado exponencialmente por ende los servicios tradicionales de internet son ineficientes para su navegación para lo cual las empresas optan por desarrollar sistemas de redes de fibra óptica para garantizar una alta velocidad de transmisión teniendo el objetivo de este proyecto el análisis de la red de acceso inalámbrico actual de la empresa Insysred con el fin de conocer las debilidades y fortalezas en su red actual y poder estudiar los diferentes tipos de fibra óptica, propiedades, análisis de elementos activos y pasivos que conforman una red de fibra óptica, para analizar los diferentes estándares y elegir la mejor opción para su implementación.

## ***ABSTRACT***

At present, the navigation of users on the Internet has increased exponentially, therefore, traditional Internet services are inefficient for their navigation, for which companies choose to develop fiber optic network systems to guarantee a high transmission speed, with the objective of this project the analysis of the current wireless access network of the company Insysred in order to know the weaknesses and strengths in its current network and to be able to study the different types of optical fiber, properties, analysis of active and passive elements that make up a network of fiber optics, to analyze the different standards and choose the best option for its implementation.

# Indice

CAPITULO 1.....	12
1    Introducción.....	12
1.1    Descripción del problema .....	13
1.2    Justificación del problema.....	13
1.3    Objetivos .....	14
1.3.1    Objetivos General .....	14
1.3.2    Objetivos Específicos .....	14
1.4    Marco teórico .....	15
1.4.1    Acceso por fibra óptica .....	15
1.4.2    Tecnología FTTH.....	16
1.4.2.1    Características de sistema FTTH.....	16
1.4.2.2    Arquitectura FTTH.....	17
1.4.2.3    Redes ópticas pasivas .....	17
1.4.2.4    Arquitectura ODN .....	18
1.4.2.5    Evolución de última milla .....	20
1.4.2.6    Aplicaciones FTTH .....	21
1.4.3    Diferencia entre tecnología PON y AON .....	23
1.4.3.3    Características principales arquitectura G.984.3 .....	23
1.4.3.4    Arquitectura de multiplicación por división de tiempo G-PON.....	24
1.4.3    Materiales de Fibra Óptica .....	25
1.4.3.3    Fibra Monomodo .....	26
1.4.3.4    Transceptores en fibra óptica .....	26
1.4.3.5    Splitter 1Xn .....	27
1.4.3.6    Óptica Line Terminal (OLT).....	28
1.4.3.7    Distribuidor de fibra óptica(ODF).....	29

CAPITULO 2 .....	35
2    Metodología.....	35
2.4 Levantamiento de información .....	36
2.5 Diagrama de red de fibra óptica .....	38
2.5.1 Cajas de primer nivel .....	40
2.5.2 Cajas de segundo nivel .....	40
2.6 Selección de materiales y propuesta de potencia .....	41
2.7 Análisis de costos .....	41
CAPITULO 3 .....	43
3    Resultados y Análisis .....	43
3.4 Levantamiento de información .....	43
3.4.2 Entrevista con supervisor .....	43
3.4.3 Encuesta a clientes .....	43
3.5 Diagrama de red cliente .....	47
3.5.1 Caja de primer nivel .....	48
3.5.2 Caja de segundo nivel .....	52
3.6 Selección de materiales y presupuesto de potencia .....	55
3.7 Presupuesto de potencia .....	56
3.7.1 Atenuación mediante calculo .....	56
3.7.2 Atenuación por simulación .....	57
3.8 Análisis de costos .....	60
3.8.2 Enlace principal .....	60
3.8.3 Enlace por puerto .....	62
3.8.4 Instalación .....	62
3.8.5 Mano de obra .....	63
3.8.6 Adicionales .....	64
CAPITULO 4	
4    Conclusiones y Recomendaciones .....	66
4.1    Conclusiones .....	66
4.2    Recomendaciones .....	67

## INDICE DE FIGURA

### Capitulo1

Figura 1.4.2.2.1. Arquitectura de red FTTH.....	20
Figura 1.4.2.3.1. Arquitectura ODN. ....	23
Figura 1.4.2.4.2. Evolución de la banda ancha terrestre de una aparición de fibra por cada 500 hogares a uno para cada hogar .....	24
Figura 1.4.3.4. Multiplicación en sentido de bajada downstream .....	27
Figura 1.4.3.5.1. Tipos de splitter con conectores mecánico y sin conectores mecánicos. ....	30
Figura 1.4.3.5.2. OLT de fibra óptica .....	32
Figura 1.4.3.5.3. Caja de distribución de empalme .....	33
Figura 1.4.3.5.4 Caja de distribución exterior o roseta óptica .....	33
Figura 1.4.3.5.5 Terminal ONT.....	33
Figura 1.4.3.5.6 Terminal MDU.....	34
Figura 1.4.3.5.7 Conector cuadrado SC.....	35

### CAPITULO 2

Figura 2.2.1 Manga fibra óptica tipo rectangular.....	41
Figura 2.2.2 Caja NAP de fibra optica.....	41
Figura 2.2.2.1 Cajas de distribucion y cliente en el poligono 1.....	42
Figura 2.2.2.2 Rutas de cajas de segundo nivel poligono 1.....	43

### CAPITULO 3

Figura 3.1.1.1 Polígono total para despliegue de fibra.....	45
Figura 3.1.2.1 Análisis de encuestas a clientes.....	46
Figura 3.1.3.1 Segmento del polígono para análisis físico.....	46
Figura 3.1.3.2 Dimensiones de un Poligono formado por bloques.....	48
Figura 3.1.3.3 Poligonos para el oligono total.....	48
Figura 3.2.1 Division de fibra optica .....	49
Figura 3.2.1.1 Diagrama de polígonos de fibra 1 buffer azul, hilos completos.....	50
Figura 3.2.1.2 Diagrama de polígonos de fibra 1 buffer naranja, hilos completos.....	51
Figura 3.2.1.3 Diagrama de polígonos de fibra 1 buffer verde, hilos completos.....	51
Figura 3.2.1.4 Diagrama de polígonos de fibra 2 buffer azul, hilos completos.....	52
Figura 3.2.1.5 Diagrama de polígonos de fibra 2 buffer naranja, hilos completos.....	52
Figura 3.2.1.6 Diagrama de polígonos de fibra 2 buffer verde, hilos completos.....	53

Figura 3.2.2.1 Recorrido completo de fibra de 18 hilos en el polígono 4.....55

Figura 3.2.2.2 Recorrido completo de fibra de 18 hilos en el polígono 9.....55

Figura 3.2.2.3 Recorrido completo de fibra de 18 hilos en el polígono 13.....55

Figura 3.2.2.4 Recorrido completo de fibra de 18 hilos en el polígono.....56

Figura 3.2.2.6 Diseño final de la fibra con cajas de primer y segundo nivel.....56

Figura 3.4.2.1 Circuito de polígono 1 implementado en OptiSystem.....58

Figura 3.4.2.2 Resultados de simulación en OptiSystem.....61

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1.4.2.4.1. Comparación de varias tecnologías de red de Internet.....	22
Tabla 1.4.2.3 Identificador de asignación(Alloc-ID) .....	27
Tabla 1.4.3.1.1. Atenuación para diferentes longitudes de onda en fibra monomodo.....	28
Tabla 1.4.3.2.1 Transceiver con característica.....	29
Tabla 1.4.3.5.1. Relación de pérdidas en función de las divisiones del splitter.....	29

# **CAPÍTULO I**

## **1. INTRODUCCIÓN**

Es común escuchar de la fibra óptica, como un excelente medio de comunicación de datos, y el único con capacidad de soportar servicios de vanguardia como lo es

televisión en alta definición. No obstante, en 2001 Estados Unidos presento el acrónimo FTTH (fibra hasta el hogar) que como su nombre indica es el despliegue de fibra óptica como medio de comunicación de aquellos ISP hacia el hogar (cliente final).

Además, en agosto del 2015, entró en funcionamiento el cable submarino Pacific Caribbean Cable System (PCCS) en Ecuador. Este cable tuvo como función principal incrementar 200 veces la velocidad de transmisión de datos en la red de telecomunicación de todo el país [1]. Sin embargo, este incremento, aunque representó un cambio radical positivo para las redes de telecomunicaciones, también se muestra como un desafío para todas las empresas dedicadas a proveer servicios de comunicación y datos, y en mayor proporción a aquellos ISP que se encuentran en el nivel 3 dentro de la arquitectura de internet [2]. Evidentemente la demanda en la transmisión de datos, así como la velocidad de televisión en HD y la telefonía basada en VoIP, se ve maximizada y es donde la evolución en las infraestructura y tecnologías de estas pequeñas empresas se convierte en una prioridad para mantenerse vigentes en el mercado, es así como aparece la tecnología G-PON.

De acuerdo con la recomendación ITU-T, G-PON proporciona un crecimiento en el ancho de banda, y eficiencia en el transporte de servicios IP, en comparación con otras tecnologías existentes, además de que está estandarizado en el conjunto de recomendaciones ITU-T G.984.x, mostrando una estructura de trama escalable de 622 Mbps hasta 2,5 Gbps [3]. Entonces, la arquitectura G-PON ya no puede verse solo como una alternativa en el desarrollo de redes de fibra óptica modernas, sino también como una estrategia de negocio final, esto debido a su capacidad de transmisión y empaquetamiento (bajo la multiplexación) de servicios como VoIP, IPTV y datos [4]. Es así como, gracias a esta tecnología, se diseñará de una red FTTH que cambiará por completo, la manera de transmitir Internet.

### **1.1. Descripción del problema**

La empresa "INSYSRED" operativa desde noviembre del 2011, se ha caracterizado principalmente por brindar servicio de internet mediante radio enlace con el uso de antenas con marcas reconocidas como mikrotik y ubiquiti. El uso de la red de radio enlace ha funcionado por varios años, pero con la urbanización del lugar esta ha

ido decayendo, comprometiendo la veracidad del servicio que la empresa dice otorgar a sus usuarios finales. Factores como el ruido, la vulnerabilidad en la seguridad, la construcción de edificios y la inadecuada regulación del espacio de radiofrecuencia [5], contribuyeron a que cada vez más, la calidad de servicio que la empresa brindaba disminuyera, afectando su estabilidad económica.

Con lo vivido durante la pandemia producto del COVID-19, la exigencia en cuanto a la calidad del servicio de internet, incremento a gran medida, esto junto a la integración de nuevas empresas proveedoras de internet, ha obligado a esta pequeña empresa a la necesidad de modernizarse, y desarrollar tecnologías que lo ubiquen a la vanguardia entre las empresas dedicadas a brindar este servicio.

## **1.2. Justificación del problema**

El presente proyecto busca cubrir con una solución viable y moderna, la necesidad de mejorar la calidad de servicio brindado por la empresa INSYSRED en su sucursal de Guasmo. La modernización de su tecnología se debe a la considerable cantidad de clientes que tiene y aspira tener, por lo que el diseño de la red FTTH debe no solo mejorar el servicio entre sus usuarios existentes, sino posicionarlo en la vanguardia de empresas proveedoras de internet, para su futuro desarrollo y consolidación en el mercado.

El diseño de una red de distribución óptica aporta una gran cantidad de ventajas en cuanto al servicio, tanto al usuario final, como a la empresa quien entrega el servicio. En primer lugar, este usuario final contará con altas tasas de datos en Upstream y Downstream [4], el proveedor podrá integrar los servicios de VoIP e IPTV correlacionándose correctamente entre ellos [3], y principalmente mejorando la relación entre el cliente y el proveedor.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

- Diseñar una red GPON de fibra óptica, con capacidad de transmitir servicio de internet, telefonía y televisión.

### **1.3.2. Objetivo Especifico**

- Analizar los estándares adecuados para el diseño correcto de la red, que tenga compatibilidad con las capacidades y recursos que la empresa cuenta.
- Desarrollar los protocolos y métodos óptimos requeridos para la entrega de los servicios adicionales de televisión y telefonía.
- Estudiar los diferentes tipos de fibra óptica, y elementos activos y pasivos que conforman una red de fibra óptica, para su correcta selección.
- Determinar los costos de los recursos identificados para el diseño de la red de fibra óptica.

## **1.4. Marco Teórico**

### **1.4.1. Redes de acceso por fibra óptica**

Las redes de acceso por fibra óptica son una estructura de comunicación entre el proveedor de servicios de Internet ISP (sus siglas en inglés Internet Service Provider), y el abonado final, esta estructura se compone de varios equipos que proporcionan una comunicación distribuida de forma homogénea y coherente hacia el resto de los abonados que contratan un servicio de comunicación por fibra óptica. Los principales equipos y componentes de comunicación que componen este tipo de redes son los siguientes:

- OLT
- ODN
- FDH, FDB, y NAP
- ONT

Una OLT por sus siglas en inglés (Optical Line Terminal) es un equipo de comunicación cuyo propósito es convertir la señal eléctrica utilizado dentro de las instalaciones del proveedor ISP en una señal óptica, luego el equipo procede a gestionar, coordinar, organizar y dirigir el tráfico de comunicación entre el proveedor de servicios y la red de acceso.

Una ODN (Optical Distribution Network) viene siendo el medio de transmisión óptico entre los terminales del proveedor ISP y los terminales de los abonados, en algunos casos se compone por un cable llamado Troncal (en inglés Feeder), y los dispositivos de repartición de red llamado Splitter, estos últimos se alojan en un armario llamado ODF (Optical Distribution Frame) y son los que proporcionan la distribución equitativa de la red del ISP hacia el resto de los grupos y abonados en un territorio. El cable troncal se conecta en el puerto del ODF y a su vez hacia la entrada principal del Splitter primario que reparte y subdivide la red en varias subredes, estas subredes también conocidas como red Feeder se direccionan hacia el resto del territorio y llegan hacia una caja de distribución primaria (FDH o FDB) que lo conforma otro armario ubicado en un punto concreto entre la red interna y la red externa.

Dependiendo de las regulaciones de un territorio, factibilidad, diseño arquitectónico, o por cualquier otro motivo, estas redes de distribución pueden ser de tipo subterráneo, aéreo o mural, cualquiera de los 3 casos se utilizan cajas de distribución adecuadas para el tipo de instalación. Las cajas de distribución primaria (FDH o FDB) se conectarían hacia una caja de distribución secundaria (FDF) en donde se subdivide y ramifica nuevamente la señal de la red de fibra, y después cada ramificación se conectará en un punto de conexión residencial llamado caja de distribución de punto de Acceso de Red o por sus siglas NAP (Network Access Point). Finalmente, esta conexión va hacia el hogar del abonado mediante un cable que va desde la caja de distribución NAP hacia una Roseta óptica que se instala y ubica dentro del hogar, este último tiene una conexión que va hacia el dispositivo terminal del abonado ONT mediante un cable de fibra llamado cable Drop.

Un dispositivo ONT (Optical Network Terminal) es un dispositivo final en donde se convierte la señal de fibra óptica en una señal eléctrica que puede ser propagada ya sea a través de una conexión ethernet de cobre, o a su vez por medio de una conexión inalámbrica WIFI, gracias a esto, los abonados pueden disfrutar de una conexión a Internet inalámbrica o cableada en su hogar. La ONT en algunos casos se los suelen llamar ONU (Optical Network Unit), pero en principio es el mismo dispositivo, ya que tiene el trabajo de convertir las señales ópticas en señales eléctricas, y a su vez estos tienen la función de un router doméstico que proporciona una conexión de red y enrutamiento de paquetes de datos.

#### **1.4.2. Tecnología FTTH**

Las redes “Fiber to the home” (FTTH) son sistemas de tecnología de fibra óptica diseñado con el fin de brindar un servicio de Internet mediante elementos ópticos, así como entre otros elementos propios de la red. Esta red es de gran importancia en muchos lugares en donde se abarca a más de ocho millones de hogares conectados mediante las redes de nueva generación.

Las redes con tecnología FTTH están en la capacidad de soportar una alta demanda del ancho de banda, de lo que se espera que aumente su migración y uso en el futuro, las redes FTTH se consideran que seguirán en funcionamiento en los próximos años, para alojar servicios adicionales como voz y video de alta velocidad en tiempos de transmisión con latencia muy bajo. Actualmente las empresas telefónicas están migrando a sus abonados de las redes de Línea del suscriptor digital asimétrica (ADSL) a los sistemas actualizados con fibra óptica, con el objetivo de garantizarle al abonado una alta velocidad de transmisión.

#### **1.4.2.1. Característica del sistema FTTH**

Los sistemas de fibra óptica necesitan una inversión inicial muy considerable debido al alto costo de los componentes, así como de su correspondiente mantenimiento e instalación, un reto que los diseñadores de redes FTTH deben tener presente para poder aprovechar toda la capacidad de infraestructura que brinda las comunicaciones de fibra como por ejemplo el ancho de banda disponible para poder implementar mayor cantidad de servicios adicionales, como los servicios condensados en donde se le ofrece a los abonados por medio de un mismo plan de internet el servicio de televisión y telefonía voz ip, todos estos servicios se realizan mediante tecnologías GPON o EPON, que se consideran como las tecnología del futuro, y garantizando al proveedor ISP la ventaja de obtener una mayor ganancia económica debido a la fuerte inversión inicial versus la rentabilidad de esta tecnología a largo plazo.

#### **1.4.2.2. Arquitecturas de red FTTH.**

Actualmente las redes FTTH presentan dos tipos de arquitecturas, la arquitectura P2P conocida en inglés como “Peer to Peer” o línea directa desde la oficina del ISP, y la arquitectura P2MP, utilizando elementos ópticos como splitters, conectores LC, LS, entre otros elementos que serán mencionados más adelante.

Los diseños de redes ópticas PON las cuales serán detalladas más adelante, están constituidas de divisores pasivos desde la central hasta el suscriptor, en resumen, se puede pensar en un sistema de fibra PON como una forma limitada de una red totalmente óptica, sin electrónica en su arquitectura, a excepción de los extremos de la red, que consta de equipos como un router que transforma la energía óptica en energía eléctrica para transmitir el Internet por medio de WIFI [7].

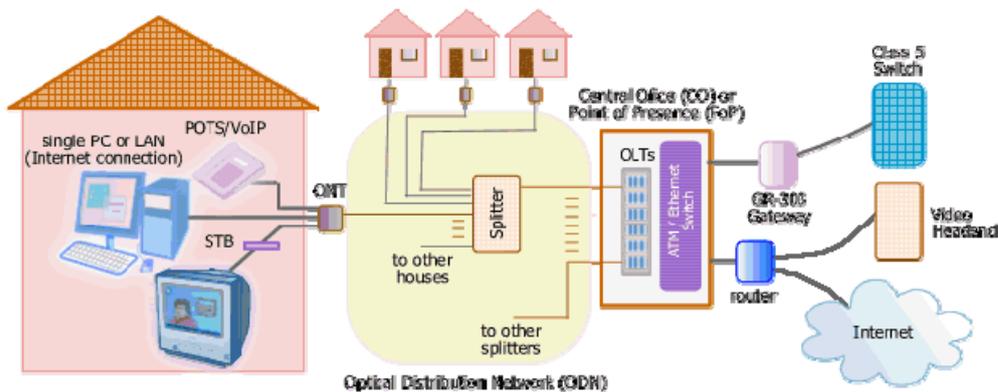


Figura 1.4.2.2.1 .Arquitectura de red FTTH.

### 1.4.2.3 Redes ópticas pasivas

Entre los distintos tipos de redes ópticas pasivas existentes, las redes ópticas pasivas PON (Passive Optical Network) son consideradas actualmente la mejor alternativa a FTTH ya que se utilizan elementos pasivos, lo que la convierte en una red de bajo costo y la señal se distribuye entre muchas personas mediante un divisor óptico.

Las redes PON garantizan un alto ancho de banda y los ingenieros en telecomunicaciones trabajan arduamente por incrementar el ancho de banda hasta hacerlo ilimitado, el objetivo de las redes PON es ofrecer a los suscriptores los siguientes parámetros de navegación.

- Velocidades mayor a 1Gbps.
- Tasa de division mayor a 64.
- Ancho de banda mayor a 100mbps por usuario.

- Transmision bidireccional , misma tasa de datos para downlink y upstring.
- Alcance mayor a los 20 km.
- Sistema con componentes pasivos con las menores perdida de atenuacion posible.
- Proteccion basica incorporada.
- Asignacion dinamica de recursos.
- Manejo del sistema centralizado [7].

Las redes encargadas de transportar datos a largas distancias hasta el proveedor de servicios ISP, y desde este punto a los anillos de distribución, son consideradas redes IOF por sus siglas en ingles (InteOffice) o tambien llamado (Long Haul), donde se garantiza una velocidad de 2 Gb/s a 8 Gb/s por cada longitud de onda, y su construcción es netamente en fibra óptica. Los dispositivos que se utilizan en los hogares manejan velocidades similares entre 2 Gb/s a 8 Gb/s, garantizando a los usuarios una increíble experiencia al momento de navegar por Internet. Las redes tradicionales que usaban los suscriptores, eran diseñadas con cable coaxial de cobre con una tecnología X de Linea de Suscripción Digital o XDSL (X Digital Subscriber Line), en las cuales se produce un cuello de botella tanto para el distribuidor de servicios o IPS como para el usuario, esta tecnología XDSL trabaja con velocidades en un rango de velocidades entre los 8Mb/s hasta los 40 Mb/s, velocidades muy inferiores a las velocidades que el sistema de fibra óptica puede ofrecer [7].

De este concepto nacieron varias tecnologías de red más actuales, entre ellos están las redes EPON y las redes GPON.

Las redes EPON (Ethernet Passive Optical Network) utiliza el sistema de multiplexación por división de longitud de onda y fue desarrollado y formalizado de acuerdo con el estándar IEEE 802.3ah, con la idea de utilizar las implementaciones grandes y de bajo costo que permiten los diseños de Ethernet para abaratar la tecnología utilizada en las PON. La velocidad de EPON es de 1 Gbit/s. Este proyecto implementó el diseño de redes ópticas de acceso para clientes ubicadas en los edificios de la Avenida República del Salvador, ofreciendo dos opciones de implementación, en base a las necesidades de ANDINATEL S.A. para brindar nuevos y mejores servicios. [6]

Las Redes GPON (Gigabit Passive Optical Network) es una evolución de los sistemas PON que garantizan una velocidad superior al medio físico, generalmente maneja tasas nominales de dirección de 2.4 Gbits en Bajada (Downstream) y de 1.2 Gbits en Subida (Upstream). Al igual que su contraparte EPON, utiliza el protocolo de multiplexación por división de longitud de onda, pero con la diferencia que añade a su esquema de protocolo un protocolo de enlace por método de Encapsulación GEM (GPON Encapsulation Method), este método tiene un mecanismo en el que las tramas de longitud se transfieren de manera variable, y la longitud de la trama está orientado a la conexión para el transporte de servicio de datos, en el que se admiten una gran cantidad de carga en las tramas al permitir encapsular las tramas de forma dinámica evitando así la congestión y fragmentación de las tramas al empaquetar cada trama con una longitud contante, por lo cual cada carga se acopla fácilmente al tamaño de las tramas que van llegando al medio, y a su vez es independiente del medio de transmisión y de la ONT.

#### **1.4.2.4 Arquitectura ODN**

La denominada arquitectura ODN se clasifica como "Home Run" conocida también como red punto a punto. En primera instancia, una fibra óptica sale de la oficina central y va directamente al suscriptor, aunque se puede creer que este sistema punto a punto es una opción más costosa, sin embargo, algunos proveedores consideran este tipo de red porque en la actualidad el cable óptico es casi tan económico en materiales y costos de instalación como cables de la misma longitud con una o varias fibras. El equipo de red de distribución óptica pasiva (ODN) incluye dispositivos y componentes que se encuentran entre la OLT (activa) y la base de clientes (ONT; activa); Esto incluye componentes de red ópticos y no ópticos [8].

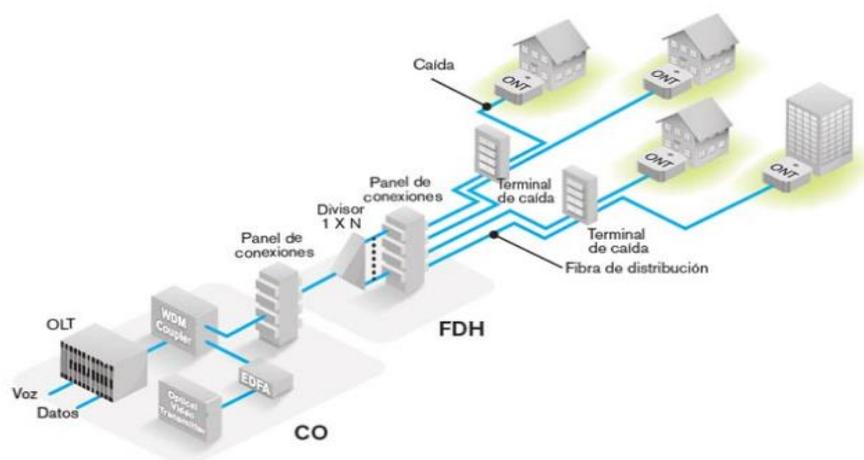
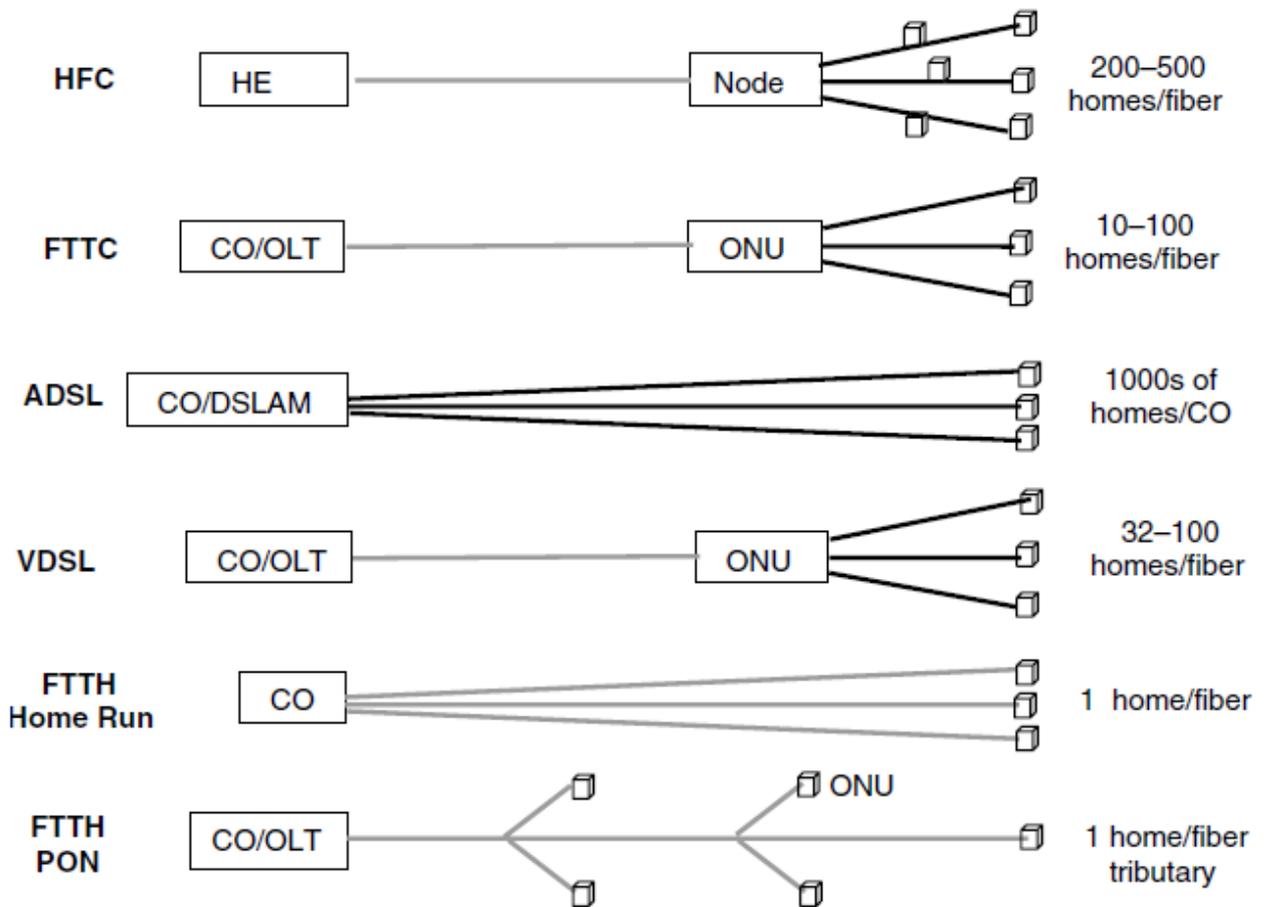


Figura 1.4.2.3.1 . Arquitectura ODN.

### 1.4.2.5 Evolución de la última milla de ancho de Banda

Tabla 1.4.2.4.1 Comparación de varias tecnologías de internet [7]

Service	Medio de transmisión	Velocidad de bajada	Velocidad de subida	Máxima distancia de transmisión	Standard
ADSL	Par Trenzado de cobre	8	0.64	2.4	ITU G.992 series
VDSL	Par Trenzado de cobre	40	6.4	0.4	ANSI T1E1, etc
ADSL2+	Par Trenzado de cobre	16	1.0	1.5	ITU G.992.5
DFC	Cable Coaxial	57	9.2	25	DOCSIS 2.0
BPON	Fibra Óptica	1.55 or 622	155	20	ITU G.983 series
GPON	Fibra Óptica	1244/2488	155-2400	20	ITU G.984 series
EPON	Fibra Óptica	1250	1250	20	IEEE 802.3ah



**Figura 1.4.2.4.1 Evolución de la banda ancha terrestre de una aparición de fibra por cada 500 hogares a uno para cada hogar. Las líneas negras indican cobre, las líneas grises indican fibra**

### 1.4.2.6 Aplicaciones de FTTH

Cuando una red está constituida de componentes eléctricos y con cables de cobre no es tan fácil migrar o reemplazar toda la red con fibra óptica debido a que se perdería la inversión inicial, donde el cobre ha demostrado ser muy eficiente en la transmisión de datos por muchos años en los sistemas de comunicaciones. Un diseño de red híbrida con fibra en combinación con cobre de par trenzado o cables coaxiales tendrá más sentido para muchos, ya que de todos modos aprovechará la red de cobre existente y, aunque práctico, la realidad es que los sistemas ADSL o HFC actuales son capaces de transmitir decenas de megabits por segundo, esta combinación provocara un fenómeno llamado cuello de botella como ya fue mencionado en este capítulo, esta es una limitación de la distancia a la cual puede llegar una señal, donde las redes FTTH están en la capacidad de superar estos inconvenientes, este es el motivo por el cual las redes de fibra óptica son muy utilizadas.

Debido a que con una red óptica pasiva se puede lograr una distancia de 20 km, Su enfoque más importante de estos sistemas de redes es en áreas residenciales suburbanas donde las viviendas están relativamente dispersas, ya que en este caso la distancia desde la OLT no representa una desventaja ni limita la capacidad de ancho de banda de la red porque las redes diseñadas en fibra óptica no han requerido reestructuración durante décadas y, por lo tanto, son una opción para redes de nueva construcción en áreas donde las redes de comunicación no existen o serán reemplazadas.

A partir de la capacidad de transmisión que ofrece la fibra óptica, se traza otro análisis para las aplicaciones que se pueden brindar a este tipo de red, su topología no solo la hace accesible a los antiguos suscriptores, sino que también al ser una arquitectura híbrida no generará un impacto tan grande de forma directa, sino que más bien será acoplado paulatinamente con el sistema óptico y por etapas, sumándole a eso la cantidad de servicios que podrán ser adicionados al sistema tradicional de suscripción.

Otro beneficio para considerar es que las redes de fibra óptica pueden tener relaciones de carga y descarga simétricas, por lo que es posible la transmisión de servicios de televisión sobre IP llamado IPTV, que garantizan una calidad de imagen superior a servicio tradicional, actualmente los abonados siguen disfrutando del servicio de televisión tradicional por medio de sistemas de cable y satélites, estos servicios tienen un cierto límite de transmisión de canales, las inclemencias climáticas del medio perjudican la calidad del servicio en el caso del sistema satelital y por dicha razón el servicio no cumple con las expectativa de los abonados. Un sistema eficiente de IPTV proporciona un servicio dedicado con canales de alta definición bajo demanda, enviándose una sola trama de información en el medio hacia el televisor, en lugar de reproducir todos los canales a la vez dentro del decodificador. Este tipo de servicio está creciendo debido a que la provisión de canales de alta definición es cada vez mayor y la tendencia es que a corto plazo todos los canales migren a este formato de transmisión, reduciendo la cantidad de cables y dificultades para la instalación y servicio de televisión bajo demanda.

### **1.4.3 Diferencia entre tecnología PON Y AON**

La tecnología AON brinda a cada suscriptor una línea única para la transmisión de datos, a diferencia de una red PON que comparte los hilos de fibra óptica para denominada parte de la red, implicando que un usuario comparta el mismo ancho de banda , donde encontrar o detectar un problema en una red PON es algo más difícil que una red AON , los mantenimientos de una red de fibra AON al ser constituida de equipos eléctricos generara un mayor costo en sus mantenimientos y un alto costo en alimentación de los equipos , a diferencia de una red PON que tiene solamente elementos pasivos ( ópticos) [9].

#### **1.4.3.3 Características principales de la Arquitectura G-984.3**

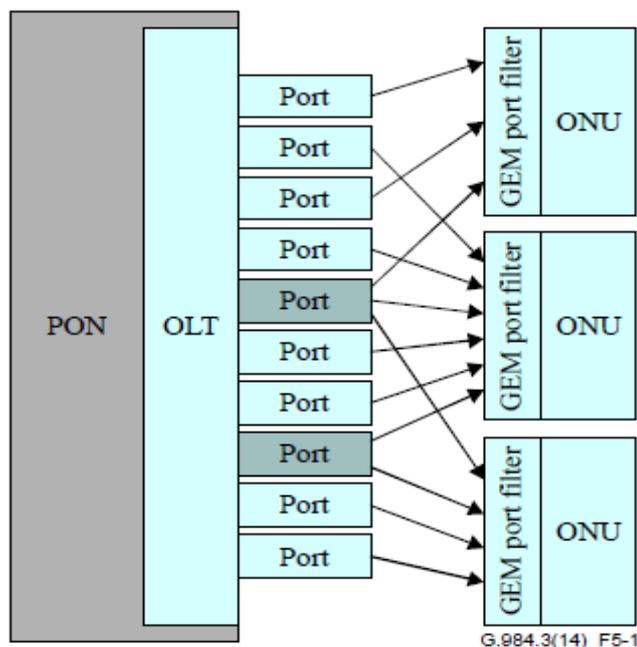
La arquitectura UIT-T G.984.3 tiene como enfoque la capa de convergencia de transmisión para redes ópticas pasivas gigabit, con el fin de garantizar servicios de banda estrecha y banda ancha, opera a una velocidad de 2.48832 Gbit/s en sentido descendente y 1.24416 Gbit/s o 2.48832 Gbit/s para el sentido ascendente, esta recomendación necesita estas especificaciones [10].

- Se transmite información en sentido ascendente por el mecanismo de acceso múltiple por división de tiempo.
- Convergencia de transmisión de Gigabit PON(GTC).
- Canal de mensajería de operación, mantenimiento y administración de la capa física (OAM).
- Mecanismo de señalización para asignación dinámica de ancho de banda en sentido ascendente.
- Corrección de errores.
- Seguridad.
- Método de activación de la unidad de red óptica (ONU).

#### **1.4.3.4 Arquitectura de multiplexacion por división de tiempo G-PON**

La OLT tiene como objetivo multiplexar las tramas con protocolo GEM en el medio de transmisión utilizando el método de GEM Port-ID como clave para identificar las

tramas GEM que pertenecen a diferentes conexiones lógicas descendentes. Cada ONU tiene filtros para las tramas descendentes basándose en su identificador de puertos GEM, y son capaces de procesar únicamente las tramas pertenecientes a sus correspondientes ONU's [10] .



**Figura #1.47. Multiplexación de bajada**

En sentido ascendente es posible distribuir la función de multiplexación de tráfico. La OLT concede una posibilidad de transmisión ascendente o designación de ancho de banda de bajada, para el tráfico que accede entidades en las ONU subordinadas. Se consideran a los portadores de tráfico ONU como los destinatarios encargados de designar el ancho de banda de enlace de subida identificado por el identificador de Alloc (AllocID). Los anchos de banda son asignados por diferentes AllocID y se multiplexa en el dominio del tiempo según las especificaciones de la OLT designadas en el ancho de banda upstreaming o de subida. Para cada ancho de banda, la ONU utiliza el ID del puerto GEM como clave para multiplexar para identificar las tramas GEM que corresponden a distintas conexiones upstreaming.

#### Identificador ONU-ID

La OLT tiene la obligación de informar a la ONU un identificador ONU-ID el cual es un numero de 8 bits mediante un canal de mensajería denominado PLOAM. Este identificador está activo mientras que la OLT este encendido y los valores se presentan en la siguiente tabla:

<b>ONU-ID</b>	<b>Designación</b>	<b>Comentario</b>
<b>0.253</b>	asignable	Al momento de activar la ONU, la OLT realiza una activación, con el objetivo
<b>254</b>	Reservado	Al realizarse esta activación, entramos en conflicto con el uso de Alloc-ID.
<b>255</b>	Difusión/ dirección de difusión	No asignada en PLOAM; sin asignar en PLOAMu.

Tabla

### **1.4.3.5 Identificador de asignación (Alloc-ID)**

Alloc-ID es un identificador de asignación el cual consta de 12 bits y la OLT es responsable de asignar a la ONU con el objetivo de reconocer a una entidad portadora de tráfico de forma que sea el destinatario quien atribuya el ancho de banda ascendente para dicha ONU para el tráfico ascendente. Las formas en que se represente dicha ONU son por TCONT o por el OMCC ascendente.

Cada ONU necesita al menos su propio AllocID de forma predeterminada este valor numéricamente es parecido al ONU-ID de esa ONU, y es posible asignar Alloc-ID de forma adicional a discreciones de la OLT.

La ONU tiene un AllocID que se atribuye implícitamente, esto se realiza en función de la asignación de ONUID, y no es necesario un mensaje explícito PLOAM Assign\_AllocID. El AllocID predeterminado es utilizado para transportar tráfico PLOAM y OMCC en dirección ascendente o upstreaming para finalmente transportar tráfico de datos a un suscriptor. El AllocID predeterminado no es posible ni cambiarlo ni cancelarlo a través del mensaje PLOAM Assign\_AllocID.

## **1.4.4 Materiales en una red de Fibra Óptica**

### **1.4.4.3 Fibra Monomodo**

La fibra monomodo se utiliza para aplicaciones de larga distancia que requieren que los transceptores de fibra óptica láser funcionen en longitudes de onda con tamaños de puntos más pequeños y anchos espectrales más estrechos, la fibra OS1, la cual llega a distancias máximas de 10 km, con una atenuación de 1,0 db/Km y el estándar es el

ITU-T G.652 A/B/C/D.Fibra OS2, la cual llega a distancias máximas de 200 km, con una atenuación de 0,4db/km con un estándar ITU-T G.652C/G.657.A1. [11]

**Tabla 1.4.3.1.1 Atenuación para diferentes longitudes de onda en fibra Monomodo [12]**

<i><b>Tipo de Cable</b></i>	<i><b>Longitud de onda</b></i>	<i><b>Atenuación máxima</b></i>	<i><b>Longitud de ancho de banda nodal mínimo</b></i>	<i><b>Longitud de ancho de banda nodal efectivo</b></i>
<i><b>Monomodo Interior-Exterior</b></i>	1310 nm	0.4 dB/Km	ND	ND
	1383 nm	0.4 dB/km	ND	ND
	1550 nm	0.4 dB/km	ND	ND
<i><b>Monomodo Interiores</b></i>	1310 nm	0.9 dB/km	ND	ND
	1383 nm	0.9 dB/km	ND	ND
	1550 nm	0.9 dB/km	ND	ND

#### **1.4.4.4 Transceptores en fibra óptica**

Un transceptor de fibra óptica es un dispositivo que se utiliza para enviar y recibir información óptica. Hay diferentes componentes en los dispositivos, incluidas las fuentes de luz y los componentes eléctricos. El transceptor tiene 2 extremos, un extremo para conectar cables ópticos y un extremo para conectar equipos eléctricos.

El transceptor de fibra óptica está fabricado de semiconductores, con la característica que genera una componente de carga eléctrica cuando se expone ante una fuente de luz, con la finalidad de emitir pulsos de luz de forma rápida y precisa, siendo la fuente de luz un diodo emisor de luz (LED) o un láser, para finalmente converger la información eléctrica en información óptica [13].

**Tabla 1.4.3.2.1 Transceiver con características [14]**

<i><b>Velocidad</b></i>	<i><b>Transceiver</b></i>	<i><b>Descripción</b></i>
<b>1 G</b>	Monomodo SFP	Cisco GLC-LH-SMD Compatible 100 BASE-LX/LH SFP 1310nm 10km DOM Transceiver.
	Multimodo SFP	Cisco GLC-SX-MMD Compatible 1000BASE-SX SFP 850nm 550m DOM Transceiver,

<b>10 G</b>	Monomodo SFP +	Cisco SFP-10G-LR Compatible 10GBASE-LR SFP+ 1310nm 10km DOM Transceiver
	Multimodo SFP +	Cisco SFP-10G-SR Compatible 10GBASE-SR SFP+850nm 300m DOM Transceiver
<b>40 G</b>	Monomodo QSFP +	Cisco QSFP-40G-LR4 Compatible 40GBASE-LR4 and OTU3 QSPF+ 1310nm 10km LC DOM Transceiver
	Multimodo QSFP +	Cisco QSFP-40G-SR4 Compatible 40GBASE-SR4 QSFP+850nm 150m MTP/MPO DOM Transceiver
<b>100 G</b>	Monomodo QSFP 28	QSFP28 Cisco QSFP-100G-LR4-S 100GBASE-LR4 1310nm 10Km
	Multimodo QSFP 28	QSFP20 Cisco QSFP-100G-SR4-S Compatible 100GBASE-SR4 850nm 100m Transceiver

#### 1.4.4.5 Splitter 1XN.

Los splitters tienen como finalidad dividir una señal óptica en relación de 1:2, 1:4,1:8, así sucesivamente hasta 1:64, esto introduce una pérdida de potencia para el sistema que se muestra a continuación.

<b>Relación de División</b>	<b>Perdida Máxima (dB)</b>	<b>Perdida Típica (dB)</b>
<b>1x2</b>	3.7	3.1
<b>1x4</b>	7.3	6.2
<b>1x8</b>	10.3	8.8
<b>1x16</b>	13.4	12.7
<b>1x32</b>	16.7	16.5

Si en un splitters con relación 1:2, la potencia se divide en 2 ramales de manera uniforme, implicando que cada ramal tenga  $10 \cdot \log(0.5) = 3$  db. Los splitters están disponibles con un conector de entrada y varios de salida [15] .



#### 1.4.4.6 OLT (Óptica Line Terminal)

Este equipo se ubica en la oficina central y cuenta con diferentes interfaces tales como IP/MPLS, NGN, IMS, servidor IPTV u otros, los puertos PON pueden alimentar hasta 64 clientes. Las OLT que depende del modelo y marca tienen 16 tarjetas con 4 puertos PON en cada tarjeta [15].

#### 1.4.4.7 Distribuidores de Fibra Óptica (ODF)

Permite la conexión entre la fibra troncal y la OLT con ayuda de acopladores. Los ODF vienen en diferentes tamaños 24F/48F/72F/96F/144F [15].



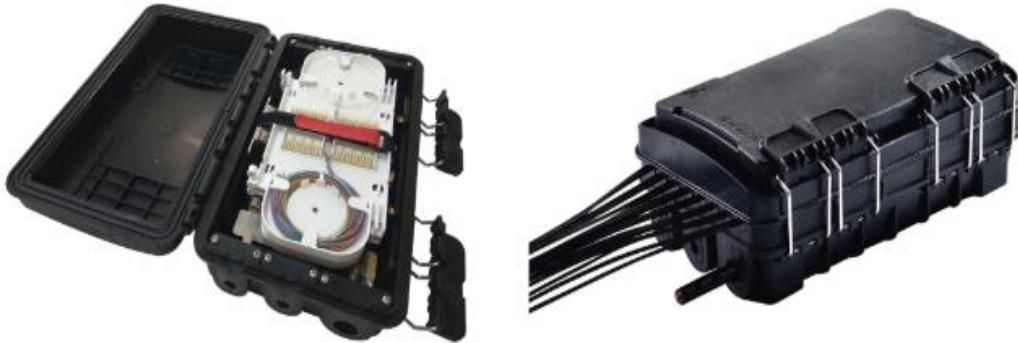
Figura 1.4.3.5.1 OLT de fibra óptica.

#### 1.4.4.8 Fibra de distribución terminal/Hub (FDT)

Los hub fueron diseñados con el fin de organizar y administrar cables de fibra óptica y splitters, generalmente se usan en edificios de gran altura y se ubican en salas de telecomunicaciones. El FDT o Hub en exteriores es usado para las redes FTTX y se ubican en gabinetes de telecomunicaciones para permitir la conexión para un servicio de internet por fibra óptica particular [15]

#### 1.4.4.9 Fibra de distribución (Caja de empalme)

Las cajas de conexiones se utilizan para conectar la línea troncal principal con la línea troncal auxiliar y pueden ir aéreas o subterráneas. Los más habituales en el mercado son los empalmes de 24, 72 y 96 [15].



#### 1.4.4.10 Fibra de distribución (Caja para exteriores)

Se conoce también como Roseta, este es el último punto en la instalación antes de conectar a la ONT, en algunas ocasiones existe un acoplador [15].



#### 1.4.4.11 Caja de terminación de fibra

La caja de terminales de fibra óptica es un accesorio en las implementaciones de FTTC (Fiber to the Curve), ya que está diseñada para brindar conectividad a los clientes sin ingresar a instalaciones protegidas externamente. Tiene uno o más acopladores [15].

#### 1.4.4.12 Terminal de red óptica(ONT)

ONT se coloca directamente con el cliente. Admite una combinación de servicios de telecomunicaciones que convierten señales ópticas en señales electrónicas. Algunas

ONT están preparadas para actuar como puntos de acceso para proporcionar conectividad inalámbrica y puertas de enlace para el servicio telefónico.



#### **1.4.4.13 Caja de distribución óptica**

MDU con una abreviatura en inglés (Multi Dwelling Unit) es un dispositivo diseñado para implementar FTTB (Fiber to the Building). Las principales ventajas de estos dispositivos son múltiples puertos LAN (8/16/2), bajo consumo de energía, sin necesidad de enfriamiento externo, alta estabilidad y respeto al medio ambiente. Son fáciles de instalar y requieren poco mantenimiento, perfectos para implementaciones pequeñas y medianas [15].



#### **1.4.4.14 Conectores Ópticos**

Se caracterizan por ser elementos pasivos y están involucrado dentro de la red con la función de conectar los hilos de fibra óptica para establecer una comunicación transmisor-receptor, se debe tener en consideración los siguientes parámetros tales como calidad, rendimiento, condiciones de ambiente, debido a que los cables que se usan en planta externa son diferentes a los usados en planta interna, donde los mantenimientos son fáciles y rápido. [16]

#### **1.4.4.15 Conector SC**

SC o conector cuadrado (Square Connector), los costos de fabricación cada vez son menores , esto lo convierte en el más popular, se ajusta de manera rápida mediante presión, es utilizado en telefonía, televisión por cable, FTTH, etc., es aplicable para fibra monomodo y multimodo con una pérdida de 0,25db [17]



Figura # . Conector SC

#### **1.4.5 Títulos Habilitantes**

El ente regulador de telecomunicaciones ecuatoriano es Arcotel, que tiene como objetivo direccionar, regular, administrar y control del sector de las telecomunicaciones, se debe tener en cuenta la normativa de estos entes reguladores y este estudio debe ser aplicado de acuerdo con lo que prescribe Arcotel.

Durante el diseño de nuestra red de Fibra óptica hemos considerado las recomendaciones de la UIT, dado que Ecuador brinda una aceptación a estas recomendaciones en su normativa, nuestro diseño pretende cumplir estas normativas, con la posibilidad de brindar servicio triple Play a los usuarios, internet, televisión y telefonía.

A continuación, se realizará un análisis de las obligaciones de los operadores de servicios enfocados en telecomunicaciones y la examinación de las licencias de estos servicios.

##### **1.4.5.3 Reglamentación correspondiente al diseño de red**

La Arcotel concede permiso para que las operadoras presten servicios en el ámbito de las telecomunicaciones con el derecho a instalar, modificar, extender y operar las redes sean por medio alámbrico o inalámbrico los cuales son medios por los cuales se puede prestar dichos servicios, con las condiciones planteadas en el poder notarial y el reglamento en vigor.

- Identificación y derecho consuetudinario del solicitante como persona jurídica, presentación de la escritura de constitución y nombramiento del representante legal;
- Descripción del servicio propuesto;
- Proyecto técnico que describa la topología de la red, los elementos y dispositivos de la red, la ubicación geográfica y la demostración de las capacidades de la red;
- Plan de inversiones mínimas;
- Determinación de los recursos de espectro radioeléctrico necesarios;
- Determinar los puntos de conexión necesarios;
- Informe del director de Telecomunicaciones sobre la prestación de servicios de telecomunicaciones por parte del solicitante y sus accionistas, incluyendo información sobre la imposición de sanciones, si las hubiere en caso de solicitud de prórroga de títulos calificados, deberá acompañarse certificado de cumplimiento del objeto del contrato, emitido por la Autoridad Nacional de Telecomunicaciones y el director general de Telecomunicaciones.

# CAPÍTULO 2

## 2 METODOLOGÍA

Antes de comenzar con los pasos para la ejecución del diseño de la red, es importante aclarar aspectos relevantes para el mismo. Inicialmente debemos preguntarnos ¿qué tipo de red estamos armando? Claro, aunque sabemos que la respuesta evidente es una red de fibra óptica, hay que tener en cuenta que la misma puede diseñarse de varias maneras, con diferentes equipos y estándares. Entonces, con el fin de reducir nuestras opciones en cuanto al diseño se refiere, se establecieron los siguientes puntos:

- Esta red como ya es de conocimiento tiene capacidad de ofrecer servicios de datos, audio y video, por lo que el manejo de encapsulamiento de datos, monitoreo de tráfico, asignación de ancho de banda y arquitectura de multiplexación, se manejó bajo el estándar ITU-T G984.3 vigente en el medio.
- La red cuenta con una OLT y una ONU como equipos activos dentro de la misma, aunque esta red cuenta con un equipo router de marca tp-link de 4 antenas. Por otro lado, esta red cuenta con dos niveles de splitter, donde se usó una caja NAP de distribución (splitter 1x16) como primer nivel y una caja NAP de cliente (splitter 1x8) como segundo nivel.
- Las fibras ópticas con las cuales se trabajó en el diseño se manejan bajo el estándar ITU-T G 657.A en vigor.
- El tipo de empalme que se usó para el desarrollo de nuestro diseño de red es del tipo por fusión, para garantizar la menor pérdida posible.

Teniendo especificado estos puntos, se puede aclarar los pasos que se siguieron para el desarrollo de la metodología de este proyecto. Para la simplificación de estos se estableció el siguiente diagrama de flujo:



## 2.4 Levantamiento de Información

Como se describió anteriormente, la necesidad principal de nuestro cliente (INSYSRED) es diseñar una red de fibra óptica que pueda reemplazar su actual medio de comunicación, el cual está estructurado mediante antenas de radio enlace de la marca Mikrotik [18] y Ubiquiti [19]. Sin embargo, en términos de datos, es fundamental que se efectuó una recopilación de estos, que nos permitan determinar si el diseño y ejecución de esta red de fibra, cumplan con la necesidad de nuestro cliente. Para el levantamiento de información se aplicaron tres estrategias las cuales fueron:

- Entrevista a la supervisora de la sucursal
- Encuesta a clientes del sector
- Recorrido físico del sector

En primera instancia debemos conocer el sector, la ubicación de la oficina central y la cantidad de clientes en la cual vamos a trabajar, para ello se efectuó una entrevista con la supervisora de la sucursal, donde se analizó temas ya antes mencionados, recordemos que uno de los beneficios más importantes de trabajar con radio enlace es las distancias que se pueden cubrir. No obstante, al trabajar con redes FTTH esa ventaja se ve disuadida, ya que recorrer kilómetros de fibras puede significar futuros problemas, por lo que, hay que tener en cuenta que debemos tener un número determinado de usuarios finales y la ubicación específica para realizar el enlace de fibra.

El número de clientes los cuales van a contar con la red de fibra óptica es una porción de la total, esto se determinó limitando la región de fibra óptica a un polígono total. Paralelamente a este proceso, se empezó con el trazar de este polígono total del sector en el que se va a desplegar toda la red de fibra, para el cual se utilizó el software Google Earth Pro [20].

Después de conocer la cantidad de nuestra muestra de clientes, se efectuó una encuesta los mismos. Esta encuesta se realizó los días 5 y 6 de noviembre del 2021, días donde se efectuó el corte del mes y hubo una mayor asistencia de clientes a la oficina central de la sucursal. Esta encuesta tuvo como objetivo determinar la aceptación de nuestro proyecto en los clientes existentes e inferir su aceptación, y para su respectivo análisis se usó la página Survey Monkey [21] la misma que nos ayudó a una interpretación más rápida en esta etapa del proceso.

Finalmente, para culminar esta primera etapa en el proceso de nuestro diseño de red se efectuó un recorrido físico para determinar cuántas antenas de radio enlace existen por manzana, naturalmente esto se pudo realizar gracias a dos factores. En primer lugar, las antenas que la empresa utiliza para su red de radio enlace tienen un distintivo con las que se las puede identificar con respecto a otras (método que usa la empresa para evitar robos de equipos) y el segundo factor que influyó para la ejecución de este proceso fue segmentar el polígono total en pequeños bloques compuestos en 4 manzanas. Sin embargo, aunque logramos reducir más de 500 manzanas a 132 bloques, esta

cantidad sigue siendo muy alta para hacer el recorrido físico, por lo que usamos un cálculo de tamaño de muestra [22] con el cual se llegó a minimizar a 80 bloques. Esta cantidad de bloques fueron recorridos para determinar la cantidad de usuarios finales que posee nuestro cliente dentro de su red de radioenlace y establecer la cantidad de usuarios posibles a migrar y además nos permitió interpretar nuestro diseño para un futuro crecimiento de usuarios que puede desarrollar nuestro cliente. Finalmente juntamos estos bloques y se dio paso a polígonos, los mismo que cubren a 25 usuarios finales que deben ser migrados aproximadamente. De esta manera se acentuó la cantidad final de mini polígonos que se van a unir para que nuestro diseño de red cubra el área final del polígono total, y determinar por la transitividad cuantos puertos de nuestra OLT serán usados.

## **2.5 Diagrama de la red de fibra**

En esta etapa del proceso nos enfocamos en la ubicación de las cajas ópticas (NAP) donde se encuentran los splitter quienes le van a dar la división óptica necesaria para cubrir con la cantidad de usuarios determinados en la sección anterior. Para el diseño de nuestra red, en primer lugar, se determinó el uso de OLT Huawei OLT MA5608T que como ya vimos cuenta con capacidad de 128 clientes en 32 puertos cada uno. Es decir, en esta etapa ya hemos definido la cantidad de clientes disponibles en la OLT, la cantidad de clientes que debemos migrar y consecuentemente la cantidad de clientes a los que podemos vender el servicio existente y el propuesto por este trabajo. Al ya contar con esta información, realizamos el diseño y para este paso se utilizó tres aspectos importantes y relevantes:

- Diseño incremental; Si bien es cierto que nuestro cliente INSYSRED quiere cubrir un sector específico con la red de fibra óptica, el trabajo de diseño se efectuó con la consigna de un posible futuro crecimiento de usuarios de manera paulatina o secuencial. Esto quiere decir que se utilizó y se escogió fibra ADSS de 24 hilos y 18 hilos para cubrir áreas de trabajos distintas.
- Se uso un patrón de color; Para nuestro diseño, la fibra maneja el patrón de color según el TIA/EIA-598-B [23]. Como sabemos, tenemos

28 polígonos y al mismo tiempo, contamos con 2 fibras principales, entonces para nuestro diseño se concluyó que cada fibra principal abastecería a 14 polígonos.

- Cuantas cajas por clientes en el sector; para lograr cubrir 128 usuarios finales por cada puerto de la OLT contamos con dos niveles de splitter o de división óptica, 1x16 y 1x8 respectivamente, dentro de nuestra red FTTH. Esta división nos permite repartir los servicios de datos, audio y video, a 128 clientes teóricamente. De esta manera se ubicó una caja NAP para el primer nivel (caja distribución) y 16 cajas NAPs para el segundo nivel (caja cliente).

Referente a la localización de las cajas, las cajas de distribución (splitter 1x16) se ubicó en un manga rectangular tal y como se ve en la figura 2.2.1, mientras que para las cajas clientes (splitter 1x8) se ubicó una caja NAP sujeta al poste de luz con cinta banding, tal como se ve en la figura 2.2.2



**Figura 2.2.1 Manga fibra óptica tipo rectangular**



**Figura 2.2.2 Caja NAP de fibra óptica**

## 2.5.2 Cajas de primer nivel (splitter 1x16)

La fibra número 1 de 24 hilos parte desde la oficina hasta la caja CD1, es importante recalcar que dentro del patrón de colores se usó el hilo azul del buffer azul. De esta manera es el turno del hilo Naranja que parte desde CD1 a CD2, a continuación, el hilo verde partiendo desde CD2 a CD3, luego el hilo café partiendo desde CD3 a CD4, luego el hilo gris desde CD4 a CD5, y finalmente el hilo blanco desde CD5 hasta CD6. Este mismo esquema se repite para el buffer naranja y el buffer verde de las fibras 1 y 2. Sin embargo la numeración de las cajas se mantiene continuas es decir que la caja del hilo azul del buffer naranja es CD7 y del buffer verde es de CD13.

Por otro lado, como se dijo anteriormente se utilizó dos fibras, por lo que la fibra número dos, también empieza con el buffer azul y continua según el patrón de colores antes definido. No obstante, su numeración como en el caso anterior se mantiene continuo ya que el mismo depende de su ubicación en el puerto de la OLT.

## 2.5.3 Cajas de segundo nivel (splitter de 1x8)

Para las cajas de segundo nivel se utilizó una fibra ADSS de 18 hilos, y para el cálculo de la cantidad de fibra se tomó la medida desde la caja de primer nivel hasta la caja CC1.01, posterior a eso se tomó la medida de CC1.01 hasta CC1.02 y así sucesivamente hasta que llegemos a CC1.16. esto con la finalidad de aprovechar la fibra de 18 hilos y minimizar el recorrido de fibra desde un nivel a otro.



Figura 2.2.2.1 Cajas de distribución y cliente en el polígono 1

Tomamos como ejemplo al polígono 1 donde en la figura 2.2.2.1, el punto amarillo marca la ubicación de la caja de primer nivel, mientras que los puntos rojos marcan las cajas de segundo nivel.



**Figura 2.2.2.2 Rutas de cajas de segundo nivel polígono 1**

Como se evidencia en la figura 2.2.2.2 se marcan 1 ruta de fibra donde se da activación a las 16 cajas clientes. Evidentemente se realizó el cálculo para cada polígono de los 28 puertos en al OLT los mismos. Con esto se elaboró una tabla con el valor total de fibra de 18 hilos utilizados para todos los puertos involucrados en nuestra red.

## **2.6 Selección de materiales y Presupuesto de Potencia**

Después de efectuar el diagrama en el software, se observó que se puede efectuar el despliegue de la red mediante un tendido aéreo en la gran mayoría del terreno del polígono total, pero existe unos metros los cuales es necesario trabajar con soterramiento. No obstante, gracias a la infraestructura de la ciudad en donde se desplegó el presente proyecto se optó por utilizar el estándar ITU-T G.657.A, el mismo que nos permite trabajar con una fibra óptica del cable monomodo cuya característica principal es ser insensible a la pérdida por flexión.

Una vez que se escogió los materiales se buscó las especificaciones técnicas de cada uno. En esta etapa se efectuó el cálculo de la atenuación de la fibra de manejar teórica utilizando para esto la recomendación ITU-T G.657 para el enlace de fibra y se comparó con una simulación el mismo que fue efectuado en el software OptiSystem [24]. Estos datos se efectuaron para el polígono 20, ya que es

el que presenta mayor longitud de fibra. Sin embargo, la misma técnica se despliega para los 28 polígonos correspondientes, donde se obtuvo una tabla de resultados.

## **2.7 Análisis de costos**

Para esta sección se consultó con tres proveedores, HENTEL CIA. LTDA [25], ZC MAYORISTAS S.A. [26] y ALTALA S.A. [27], estas tres empresas son líderes en la comercialización de equipos de internet en el medio local. Aquí encontramos los valores más económicos de los materiales requeridos para nuestra red, que a su vez muestran una gran calidad por su marca y sus especificaciones. No obstante, para el correcto análisis se dividió los valores entre secciones para obtener una apreciación real de los costos de inversión en nuestra red de fibra óptica.

En primer lugar, tenemos el análisis de costo para el enlace principal y con esto nos referimos a los equipos involucrados en la estructura de la oficina central, como por ejemplo la OLT, el ODF las fuentes de poder, entre otros. Seguido de esto tenemos el análisis del enlace por puerto, que como su nombre indica, muestra el valor de inversión de material por cada puerto de fibra que se vaya a activar. En esta sección tomamos como muestra el puerto 1 ya que es nuestra referencia, luego el puerto 14 y 23 ya que estos presentan la mayor cantidad de fibra de 24 hilos y 18 hilos respectivamente. Sin embargo, se efectuó el cálculo de todos los puertos para así determinar el valor de cubrir con fibra óptica al polígono total. Posterior a esto tenemos costos de instalación, y con esto hablamos de los equipos necesarios para el tendido aéreo de fibra como herrajes, pinzas tensoras, entre otras. Finalmente, en nuestro análisis de costos incluimos la mano de obra por trabajar en el enlace principal y el valor por trabajar en un enlace por puerto.

Aunque se menciono todos los aspectos relevantes para el desarrollo de nuestra red de fibra óptica, no debemos olvidar que nuestro cliente es un proveedor de internet, por lo que se incluyo como costos adicionales, todos los equipos necesarios para la instalación final (hasta la casa), ya sea ONU, Routers tp-link, rosetas entre otros. Esto como parte de un presupuesto adicional ya que recordemos que nuestra fibra permite la migración de clientes existentes.

# CAPÍTULO 3

## 3 Resultados y Análisis

Continuando con el orden seguido en la metodología tenemos que:

### 3.4 Levantamiento de Información

#### 3.4.2 Entrevista con supervisor

De aquí se obtuvo las coordenadas de la oficina central (CO) además se estableció que existen 754 clientes aproximadamente de los cuales únicamente 630 clientes pueden ser migrados a fibra óptica por su ubicación en consideración a la CO.



**Figura 3.1.1.1 Polígono total para despliegue de fibra**

En la figura 3.1.1.1 podemos visualizar el polígono donde se encuentran los 633 clientes (al cual denominaremos polígono total) y en donde se efectuó el diseño de nuestra red de fibra óptica. Este polígono cuenta con un área de 1.62 Km<sup>2</sup> y un perímetro de 5.382 m.

### 3.4.3 Encuesta a clientes

En esta etapa se obtuvo los siguientes resultados:



Figura 3.1.2.1 Análisis de encuestas a clientes [28]

En la figura 3.1.2.1 vemos que los clientes quienes no están a gusto con el servicio, en una porción mayoritaria a los que sí les gusta, además de que son frecuentemente influenciados por otras empresas proveedoras de servicio de Internet, lo cual es un perjuicio indirecto a nuestro cliente. Finalmente, en gran porción vemos una aceptación a una red de fibra óptica con la integración de servicios como telefonía y televisión.

### 3.4.4 Recorrido Físico del sector



Figura 3.1.3.1 Segmento del polígono para análisis físico

En la figura 3.1.3.1. vemos que para el recorrido se efectuó la segmentación del polígono total, es decir, nos enfocaremos en el estudio de un pequeño bloque de área de 10835 m<sup>2</sup> y un perímetro de 416 m, con una cantidad de 32 a 40 casas aproximadamente, que representa 4 manzanas. En el polígono total existe una cantidad de 132 de estos bloques, pero para minimizar el recorrido se obtuvo la muestra a partir de la ecuación [29]:

$$n(\text{muestra}) = \frac{N * (Z)^2 * (p) * (q)}{(d)^2 * (N - 1) + (Z)^2 * (p) * (q)}$$

- N = tamaño de la población
- Z = nivel de significancia
- p = probabilidad de éxito
- q = probabilidad de fracaso
- d<sup>2</sup> = presión (error admisible)

obteniendo

$$n(\text{muestra}) = \frac{132 * (1.96)^2 * (0.05) * (0.95)}{(0.03)^2 * (131) + (1.96)^2 * (0.05) * (0.95)} = 80.11$$

De esta forma se recorrió 80 bloques dentro de todo el polígono total a trabajar, para conocer la cantidad de clientes por cada bloque, donde se obtuvo la siguiente tabla:

**Tabla 3.1.3.1 Clientes de INSYSRED dentro del polígono total**

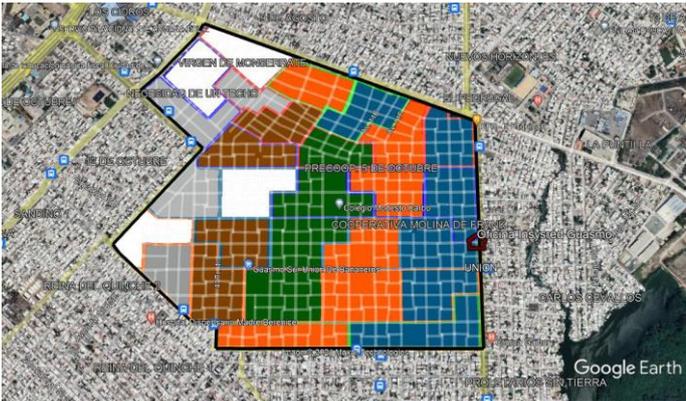
Clientes por bloque															
1	8	11	4	21	1	31	2	41	8	51	0	61	4	71	4
2	4	12	4	22	2	32	6	42	12	52	8	62	2	72	12
3	12	13	8	23	5	33	5	43	2	53	2	63	0	73	5
4	1	14	4	24	1	34	3	44	3	54	12	64	2	74	12
5	3	15	6	25	1	35	1	45	8	55	8	65	1	75	4
6	8	16	2	26	2	36	8	46	5	56	1	66	1	76	4
7	9	17	2	27	7	37	3	47	4	57	4	67	3	77	1
8	9	18	4	28	1	38	11	48	15	58	4	68	4	78	3
9	10	19	2	29	4	39	4	49	4	59	4	69	7	79	0
10	6	20	4	30	8	40	8	50	1	60	8	70	4	80	7
<b>Promedio</b>															
4.825															

La tabla 3.1.3.1 la muestra arrojó una media de 4.825 clientes por bloque por lo que se obtuvo de manera experimental una cantidad de 637 clientes que se aproxima a nuestro valor referencial que fue de 633.



**Figura 3.1.3.2 Dimensiones de un Polígono formado por bloques**

Bajo estas condiciones, nuestro diseño se estructuró inicialmente para cubrir 5 de los bloques ya antes mencionados tal y como vemos en la figura 3.1.3.2. Este polígono cuenta con un área de 56415 m<sup>2</sup> y un perímetro de 1071 m. y al poseer una media de 4.825 personas, abarca con 25 clientes que deben ser migrados a fibra óptica, aproximadamente.



**Figura 3.1.3.3 Polígonos para el Polígono total**

En la figura 3.1.3.3 observamos como estos polígonos cubren el polígono total completamente, teniendo como resultado 28 polígonos o 28 puertos de la OLT ocupados.

### 3.5 Diagrama de la red de fibra

En esta etapa del diseño, tenemos claro que contamos con 128 puertos disponibles de acuerdo con nuestra OLT, por lo que:

$$128 \text{ (disponibilidad de clientes)} - 25 \text{ (cantidad de clientes a migrar aprox.)} \\ = 103 \text{ (disponibilidad de clientes para ofrecer el servicio)}$$

Vemos que nuestro diseño permite a nuestro cliente INSYSRED incrementar la capacidad de sus clientes y buscar la expansión dentro del polígono total, pero para tener este crecimiento fuera de él. tenemos:



**Figura 3.2.1** Division de fibra optica

En la figura 3.2.1. nuestra red cuenta con dos fibras que se separan de arriba a abajo tomando como referencia a nuestra oficina central.

Al tener dos fibras principales (figura 3.2.1) y 28 polígonos (figura 3.1.3.3) nuestro diseño de red cuenta con dos fibras ADSS de 24 hilos cada uno para abastecer a un mínimo de 14 cajas de distribución. Para estas fibras se usó el patrón de color de acuerdo con el código de colores TIA/EIA-598-B [30], el mismo que se aplica para los buffers y los hilos de la fibra.

### 3.5.2 Cajas de primer nivel (splitter 1x16)

Tabla 3.2.1.1 Distancia entre cajas de primer nivel buffer azul fibra 1

#### FIBRA 1 BUFFER AZUL

Color de Hilo	Tramo	Distancia [m]	Distancia Acumulada [m]
<b>Azul</b>	ODF- CD1	181.64	181.64
<b>Naranja</b>	CD1-CD2	395.42	577.06
<b>Verde</b>	CD2-CD3	238.79	815.85
<b>Café</b>	CD3-CD4	271.51	1087.36
<b>Plomo</b>	CD4-CD5	324.96	1412.32
<b>Blanco</b>	CD5-CD6	124.41	1536.73



Figura 3.2.1.1 Diagrama de polígonos de fibra 1 buffer azul, hilos completos

Tabla 3.2.1.2 Distancia entre cajas de primer nivel buffer naranja fibra 1

#### FIBRA 1 BUFFER NARANJA

Color de Hilo	Tramo	Distancia [m]	Distancia Acumulada [m]
<b>Azul</b>	CD1-CD7	158.10	339.74
<b>Naranja</b>	CD7-CD8	326.03	665.77
<b>Verde</b>	CD8-CD9	324.12	989.89
<b>Café</b>	CD9-CD10	324.71	1314.60
<b>Plomo</b>	CD10-CD11	222.50	1537.10
<b>Blanco</b>	CD11-CD12	140.14	1677.24



Figura 3.2.1.2 Diagrama de polígonos de fibra 1 buffer naranja, hilos completos

Tabla 3.2.1.3 distancia entre cajas de primer nivel buffer verde fibra 1

**FIBRA 1 BUFFER VERDE**

<b>Color de Hilo</b>	<b>Tramo</b>	<b>Distancia [m]</b>	<b>Distancia Acumulada [m]</b>
<b>Azul</b>	CD1-CD13	270.29	451.93
<b>Naranja</b>	CD13-CD14	649.28	1101.21



Figura 3.2.1.3 Diagrama de polígonos de fibra 1 buffer verde, hilos completos

Tabla 3.2.1.4 Distancia entre cajas de primer nivel buffer azul fibra 2

**FIBRA 2 BUFFER AZUL**

<b>Color de Hilo</b>	<b>Tramo</b>	<b>Distancia [m]</b>	<b>Distancia Acumulada [m]</b>
<b>Azul</b>	ODF- CD15	213.98	213.98
<b>Naranja</b>	CD15-CD16	207.20	421.18
<b>Verde</b>	CD16-CD17	316.47	737.65
<b>Café</b>	CD17-CD18	398.99	1136.64
<b>Plomo</b>	CD18-CD19	402.07	1538.71
<b>Blanco</b>	CD19-CD20	146.10	1684.81



Figura 3.2.1.4 Diagrama de polígonos de fibra 2 buffer azul, hilos completos

Tabla 3.2.1.5 Distancia entre cajas de primer nivel buffer naranja fibra 2

**FIBRA 2 BUFFER NARANJA**

<b>Color de Hilo</b>	<b>Tramo</b>	<b>Distancia [m]</b>	<b>Distancia Acumulada [m]</b>
<b>Azul</b>	CD15- CD21	233.56	447,54
<b>Naranja</b>	CD21-CD22	266.45	713,99
<b>Verde</b>	CD22-CD23	201.40	915,39
<b>Café</b>	CD23-CD24	336.17	1251,56
<b>Plomo</b>	CD24-CD25	162.52	1414,08
<b>Blanco</b>	CD25-CD26	180.33	1594,41

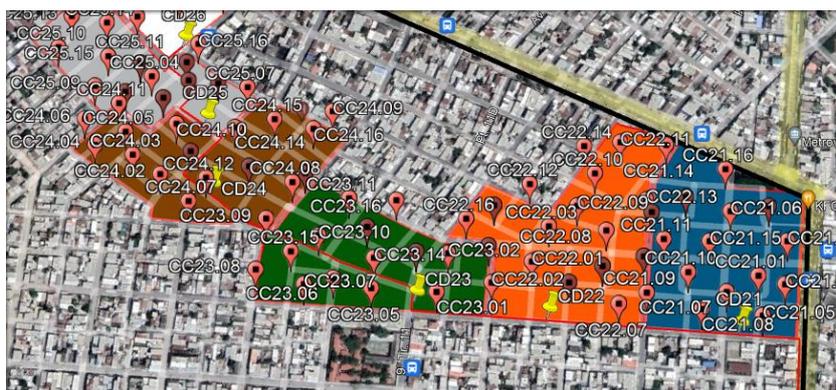


Figura 3.2.1.5 Diagrama de polígonos de fibra 2 buffer naranja, hilos completos

Tabla 3.2.1.6 Distancia entre cajas de primer nivel buffer verde fibra 2

**FIBRA 2 BUFFER VERDE**

<b>Color de Hilo</b>	<b>Tramo</b>	<b>Distancia [m]</b>	<b>Distancia Acumulada [m]</b>
<b>Azul</b>	CD23- CD27	282.56	496.54
<b>Naranja</b>	CD27-CD28	193.45	689.99



Figura 3.2.1.6 Diagrama de polígonos de fibra 2 buffer verde, hilos completos

### 3.5.3 Cajas de segundo nivel (splitter 1x8)

Tabla 3.2.2.1 Distancia entre cajas de segundo nivel, valores completos

<b>FIBRA DE 18 HILOS</b>		
<b>PUERTO</b>	<b>TRAMO</b>	<b>DISTANCIA [m]</b>
1	CC1.01- CC1.16	1266.81
2	CC2.01- CC2.16	1345.20
3	CC3.01- CC3.16	1237.65
4	CC4.01- CC4.16	1428.51
5	CC5.01- CC5.16	1397.89
6	CC6.01- CC6.16	1463.96
7	CC7.01- CC7.16	1394.32
8	CC8.01- CC8.16	1403.12
9	CC9.01- CC9.16	1436.56
10	CC10.01- CC10.16	1386.89
11	CC11.01- CC11.16	1244.23
12	CC12.01- CC12.16	1343.45
13	CC13.01- CC13.16	1482.18
14	CC14.01- CC14.16	1365.30
15	CC15.01- CC15.16	1422.78
16	CC16.01- CC16.16	1357.51
17	CC17.01- CC17.16	1242.24
18	CC18.01- CC18.16	1329.38
19	CC19.01- CC19.16	1353.75
20	CC20.01- CC20.16	1259.64
21	CC21.01- CC21.16	1250.17
22	CC22.01- CC22.16	1252.09
23	CC23.01- CC23.16	1474.79
24	CC24.01- CC24.16	1432.01
25	CC25.01- CC25.16	1342.27
26	CC26.01- CC26.16	1281.31
27	CC27.01- CC27.16	1347.42
28	CC28.01- CC28.16	1378.00
	<b>TOTAL</b>	<b>39150</b>



**Figura 3.2.2.1 Recorrido completo de fibra de 18 hilos en el polígono 4**



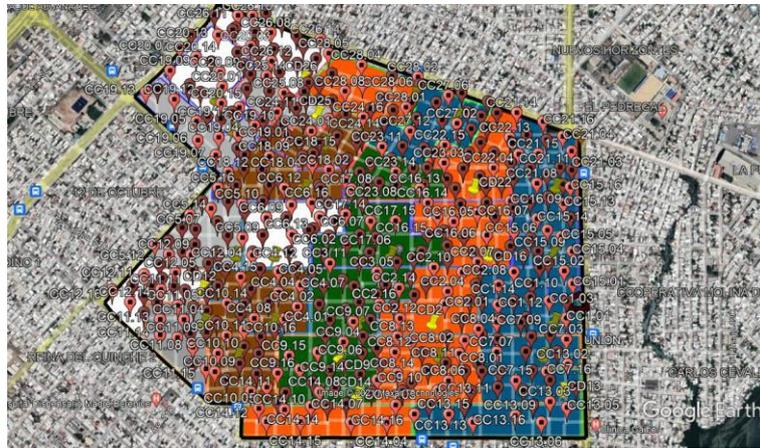
**Figura 3.2.2.2 Recorrido completo de fibra de 18 hilos en el polígono 9**



**Figura 3.2.2.3 Recorrido completo de fibra de 18 hilos en el polígono 13**



**Figura 3.2.2.4 Recorrido completo de fibra de 18 hilos en el polígono 23**



**Figura 3.2.2.6 Diseño final de la fibra con cajas de primer y segundo nivel**

Finalmente. en la figura 3.2.2.6 vemos el diseño final de la fibra con la ubicación tanto de las cajas de primer nivel como los de segundo nivel. Aquí vemos como cubrimos toda el área solicitada por el cliente, además de que nuestra estructura le permite crecer en medida del crecimiento de clientes.

### 3.6 Selección de materiales y Presupuesto de Potencia

#### 3.6.2 Materiales para la red de fibra óptica

**Tabla 3.3.1 Lista de Materiales requeridos en el diseño de red**

<i>LISTA DE MATERIALES PARA RED DE FIBRA ÓPTICA</i>
Huawei OLT MA5608T de 32 puertos
ODF de 32 Puertos con Placa Frontales SC APC
Patch cord SC/APC SM (duplex)
Fibra óptica ADSS de 24 hilos
Fibra óptica ADSS de 18 hilos
caja Óptica NAP de 16 puertos
Splice Closure
herraje tipo A
Tensores de suspensión de fibra óptica
Splitter de 1x8 (APC)
Splitter de 1x16 (APC)
Juego de Conectores APC
roseta óptica APC
Huawei GPON ONU HG8546M
TP-LINK-C50-W
IPTV SET-TOP BOX
TELÉFONO IP GRANDSTREAM GXP-2160

En la lista de materiales mostrado en la tabla 3.3.1 vemos que se incluye un IPTV set-top box, esto debido a que nuestra red ofrece servicio de video, de esta manera podremos registrar el equipo al sistema de nuestro cliente y así únicamente los clientes enlazados a esta red y con estos equipos puedan acceder a este servicio. En el caso del teléfono IP, se lo incluyó ya que nuestra red permite el envío de voz, sin embargo, este equipo es más como una opción para los usuarios finales para que trabajen directamente con nuestro cliente y así generar un ingreso más con el desarrollo de nuestra red.

### 3.7 Presupuesto de Potencia

#### 3.7.2 Atenuación teórica

De acuerdo con la recomendación ITU-T G.657 para la atenuación de la fibra en nuestra red, para el cálculo de atenuación teórico se consideró el puerto 20 ya que es el que presenta la mayor longitud de fibra, es así que tenemos:

$$\alpha_{1550\text{ nm}} = 0.4 \left[ \frac{dB}{Km} \right]$$

$$\alpha_s = 0.01\text{ dB}$$

$$\alpha_c = 0.01\text{ dB}$$

$$x = 3$$

$$y = 1$$

$$L = 3.02\text{ Km}$$

El valor de la longitud de la fibra corresponde tanto para la fibra de 24 hilos como para el de 18 hilos para el puerto 20, ya que de acuerdo con la recomendación ITU-T G.657 y el datasheet de ambas fibras su coeficiente de atenuación es el mismo, entonces:

$$A(dB) = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y$$

$$A(dB) = 0.4 * 3.02 + 0.01 * 3 + 0.02 * 1$$

$$A(dB) = 1.258\text{ dB}$$

A esta atenuación le agregaremos a pérdida de los splitter correspondientes a los splitter 1x16 y 1x8 en los niveles propuestos anteriormente, además, se debe incluir un valor de pérdida. el mismo que representa a la pérdida producto de algún inconveniente al momento de desplegar la fibra de manera aérea. de esta manera se obtiene:

$$A_T(dB) = A + A_{S16} + A_{S8} + M$$

$$A = 1.258\text{ dB}$$

$$A_{S16} = 12.7\text{ dB}$$

$$A_{S8} = 8.8\text{ dB}$$

$$M = 1\text{ dB}$$

$$A_T(dB) = 1.258 + 12.7 + 8.8 + 1$$

$$A_T(dB) = 23.758 \text{ dB}$$

Este cálculo se efectuó tomando en cuenta los valores típicos de pérdida que los splitter presenta, sin embargo, estos valores pueden alcanzar valores máximos dándonos como resultado final:

$$A_T(dB) = 25.958 \text{ dB}$$

Una vez obtenido el rango de valores de la atenuación que podemos tener en nuestra red, procedemos a utilizar la sensibilidad de la OLT para determinar si la atenuación producida en la línea sobrepasa la sensibilidad del equipo, entonces:

$$A_R = \beta - A_T$$

$$A_R = 28 \text{ dBm} - 25.958 \text{ dB}$$

$$A_R = 2.042 \text{ dBm}$$

Finalmente, vemos que para nuestra red de fibra óptica tendremos como valor máximo de atenuación 25.914 dB en el escenario en que los Splitter trabajen con su máxima pérdida. Con este valor se efectúa una relación con la sensibilidad del equipo activo, obteniendo que la atenuación producida al final, nos garantiza que nuestra red es perfectamente operativa con los niveles de división óptica.

### 3.7.3 Atenuación por simulación

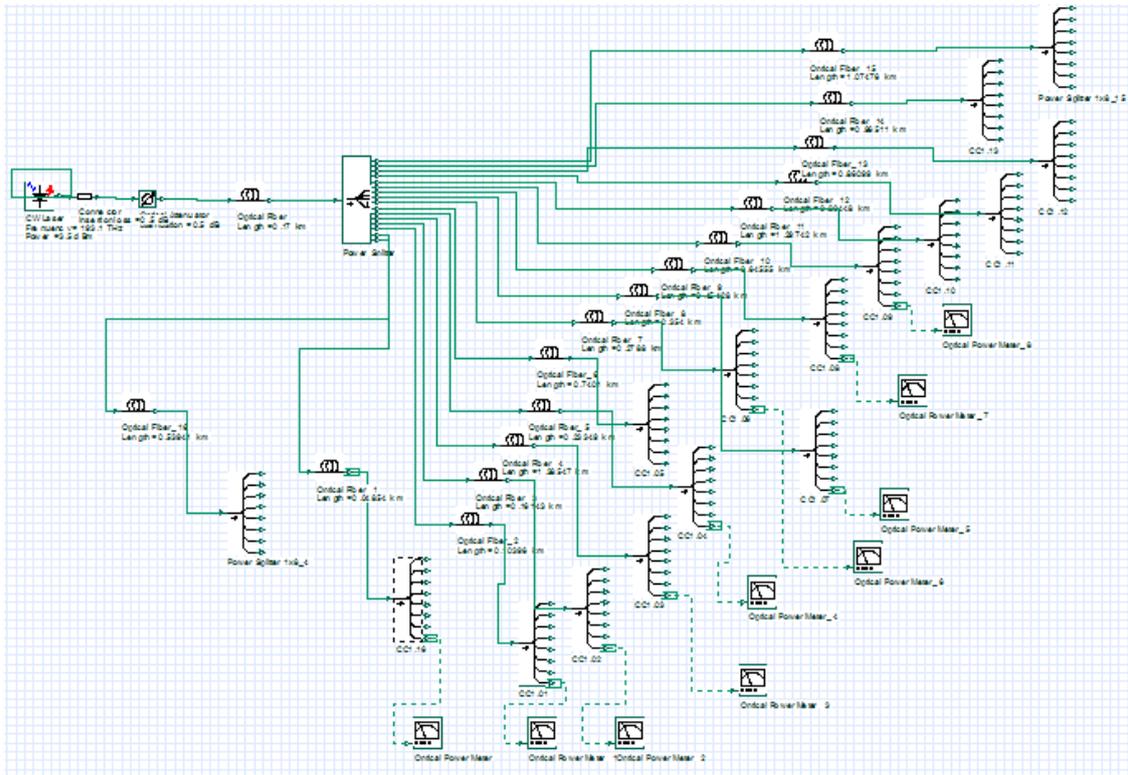


Figura 3.4.2.1 Circuito de polígono 1 implementado en OptiSystem.

#### 3.7.3.3 Tabla de valores

Tabla 3.4.2.1.1 Tabla de parámetros para laser

<i>Name</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
<b>Frequency</b>	193.1	THz
<b>Power</b>	3.49	dBm
<b>Linewidth</b>	30	MHz

Tabla 3.4.2.1.2 Tabla de parámetros de fibra ADSS de 24 hilos.

<i>Name</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
<b>Longitud de onda</b>	1550	nm
<b>Distancia de fibra</b>	1.68	km
<b>Atenuación</b>	0.4	dB/Km

Tabla 3.4.2.1.3 Tabla de parámetros de fibra ADSS de 18 hilos.

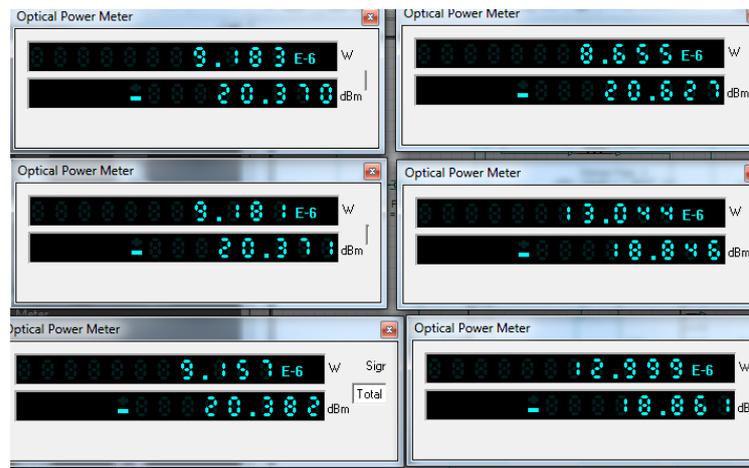
<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
<b>Longitud de onda</b>	1550	nm
<b>Distancia de fibra</b>	1.23	km
<b>Atenuación</b>	0.4	dB/Km

**Tabla 3.4.2.1.4 Tabla de parámetros para Splitter nivel 1.**

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Número de puertos</i>	16
<i>Perdida (Loss)</i>	0

**Tabla 3.4.2.1.5 Tabla de parámetros para Splitter nivel 2.**

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<i>Número de puertos</i>	8
<i>Perdida (Loss)</i>	0



**Figura 3.4.2.2 Resultados de simulación en OptiSystem.**

En la figura 3.4.2.2 se puede observar cómo los valores de potencia varían entre -18 dBm y -21 dBm, esto es debido a que en el simulador se utiliza el láser con una cantidad de potencia como se refleja en la tabla 3.4.2.1.1. La potencia del láser dentro de nuestra red esta marcada por el transceiver C++ que en este caso nos da un valor de 3.49 dBm, consiguiendo así que la atenuación final para la simulación está marcada por:

$$Pr + Pd = 20.627 + 3.49 = 24.117 \text{ dB}$$

Como vemos en la ecuación, la atenuación obtenida de la simulación se encuentra entre el rango de valores de 23.714 dB y 25.914 dB, por lo que lo se considera el experimento como satisfactorio ya que existe una relación fuertemente directa entre los valores encontrados teóricamente con las obtenidas de la simulación.

### 3.8 Análisis de costos

#### 3.8.2 Enlace Principal

Tabla 3.5.1.1 Tabla de costos para enlace de fibra en la oficina central

<b>COD</b>	<b>Descripción del Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo/Uni [\$]</b>	<b>Total [\$]</b>
<b>M.1</b>	Fuente de poder principal	Uni	1	420.00	420.00
<b>M.2</b>	Fuente de poder secundario	Uni	1	420.00	420.00
<b>M.3</b>	Huawei OLT MA5608T	Uni	1	1871.00	1871.00
<b>M.4</b>	Tarjeta OLT 16 puertos	Uni	2	1002.00	2004.00
<b>M.5</b>	ODF. 36 puertos Place Frontales SC APC	Uni	1	48.00	48.00
<b>M.6</b>	Modulo SFP Huawei GPON-OLT- CLASS C+	Uni	28	45.00	1260.00
	<b>TOTAL</b>				<b>6023.00</b>

Nos referimos como enlace principal a la implementación física de los equipos en la oficina central. Aquí podemos notar que tenemos un monto de \$6023.00 el mismo que se debe efectuar como un solo pago, es decir que este monto se cancela inicialmente, pero es implementado para el desarrollo de todos los puertos de nuestra red.

#### 3.8.3 Enlace por puerto

Tabla 3.5.2.1 Tabla de costos para enlace de fibra en el puerto 1 de la OLT

<b>COD</b>	<b>Descripción del Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo/Uni [\$]</b>	<b>Total [\$]</b>
<b>M.7</b>	Patch cord SC/APC SM (duplex)	Uni	1	2.80	2.80
<b>M.8</b>	Fibra óptica ADSS de 24 hilos	Metros	212	0.89	188.68
<b>M.9</b>	Fibra óptica ADSS de 18 hilos	Metros	1297	0.74	959.64
<b>M.10</b>	Splice Closure (con Mufa)	Uni	1	89.00	89.00
<b>M.11</b>	Caja Óptica NAP de 16 puertos	Uni	16	45.00	720.00
<b>M.12</b>	Splitter de 1x8 (APC)	Uni	16	8.00	128.00
<b>M.13</b>	Splitter de 1x16 (APC)	Uni	1	12.00	12.00
	<b>TOTAL</b>				<b>2100.12</b>

Para el desarrollo de el enlace a puerto procedemos efectuar el cálculo de la implementación económica para cada puerto de la nuestra red, sin embargo, esto solo cubre el valor de los materiales. Aquí es importante mencionar que los valores considerados de la fibra tanto de 24 como de 18 hilos es el obtenido en el calculo hecho en las tablas 3.2.1.1 hasta la tabla 3.2.1.6, y en la tabla 3.2.2.1. Muchas empresas venden la fibra por bobina, es decir por una cantidad fija, que normalmente es de 4000 metros. No obstante, para efectos de esta investigación se considera el valor por metro con los datos antes mencionados.

**Tabla 3.5.2.2 Tabla de costos para enlace de fibra en el puerto 14 de la OLT**

<b>COD</b>	<b>Descripción del Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant</b>	<b>Costo/Uni [\$]</b>	<b>Total [\$]</b>
<b>M.14</b>	Patch cord SC/APC SM (duplex)	Uni	1	2.80	2.80
<b>M.15</b>	Fibra óptica ADSS de 24 hilos	metros	680	0.89	605.20
<b>M.16</b>	Fibra óptica ADSS de 18 hilos	metros	1395	0.74	1032.52
<b>M.17</b>	Splice Closure (con Mufa)	Uni	1	89.00	89.00
<b>M.18</b>	Caja Óptica NAP de 16 puertos	Uni	16	45.00	720.00
<b>M.19</b>	Splitter de 1x8 (APC)	Uni	16	8.00	128.00
<b>M.20</b>	Splitter de 1x16 (APC)	Uni	1	12.00	12.00
<b>TOTAL</b>					<b>2589.52</b>

**Tabla 3.5.2.3 Tabla de costos para enlace de fibra en el puerto 23 de la OLT**

<b>COD</b>	<b>Descripción del Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant</b>	<b>Costo/Uni [\$]</b>	<b>Total [\$]</b>
<b>M.21</b>	Patch cord SC/APC SM (duplex)	Uni	1	2.80	2.80
<b>M.22</b>	Fibra óptica ADSS de 24 hilos	metros	232	0.89	206.48
<b>M.23</b>	Fibra óptica ADSS de 18 hilos	metros	1505	0.74	1113.54
<b>M.24</b>	Splice Closure (con Mufa)	Uni	1	89.00	89.00
<b>M.25</b>	Caja Óptica NAP de 16 puertos	Uni	16	45.00	720.00
<b>M.26</b>	Splitter de 1x8 (APC)	Uni	16	8.00	128.00
<b>M.27</b>	Splitter de 1x16 (APC)	Uni	1	12.00	12.00
<b>TOTAL</b>					<b>2271.82</b>

En las tablas 3.5.2.1 hasta la tabla 3.5.2.3 encontramos el análisis de los puertos 1, 14 y 23 respectivamente. Esto debido a que de acuerdo con la investigación en la sección 3.2.1 y 3.2.2 estos puertos presentan el mayor valor de fibra de 24 y 18 hilos respectivamente. No obstante, este análisis se efectuó para todos los puertos de nuestra red, dichos datos se pueden encontrar en el Apéndice B, desarrollando así la tabla 3.5.2.4 donde se evidencia los costos para cada puerto de fibra.

**Tabla 3.5.2.4 Tabla de costos para enlace de fibra por cada puerto de la OLT**

<b>PUERTO</b>	<b>VALOR [\$/]</b>
1	2100.12
2	2357.49
3	2128.38
4	2299.88
5	2324.39
6	2195.28
7	2174.01
8	2330.04
9	2349.44
10	2312.69
11	2119.90
12	2120.34
13	2338.70
14	2589.52
15	2244.02
16	2185.93
17	2202.09
18	2339.55
19	2361.15
20	2063.66
21	2134.09
22	2164.88
23	2271.82
24	2360.32
25	2139.05
26	2109.96
27	2249.66
28	2193.08
<b>TOTAL</b>	<b>62759.44</b>

Finalmente, en la tabla 3.5.2.4 observamos el costo final para los 28 puertos propuestos en nuestro diseño de red, el mismo que tiene un valor de \$62759.44. Sin embargo, cabe destacar que este valor es considerado si se trabaja de manera secuencial. Es decir que primero se desarrolla el puerto 1, continuación de él, el puerto 2 y así sucesivamente hasta llegar al 28. De esta manera vemos que según nuestro presupuesto obtenemos un valor máximo de \$2589.52 para el puerto 14 y un valor mínimo de \$2063.66 para el puerto 20.

### 3.8.4 Instalación

Tabla 3.5.3.1 Tabla de costos para materiales en tendido aéreo de fibra

<b>COD</b>	<b>Descripción del Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant</b>	<b>Costo/Uni [\$]</b>	<b>Total [\$]</b>
<b>M.28</b>	Tensores de suspensión de fibra óptica	Uni	2528	1.20	3033.60
<b>M.29</b>	herraje tipo A	Uni	1264	2.00	2528.00
<b>M.30</b>	Cinta metálica 1/2	Uni	140	45.00	6300.00
<b>TOTAL</b>					<b>11861.60</b>

En la tabla 3.5.3.1 vemos el costo de materiales implementados para la correcta ejecución del tendido aéreo de fibra. Para la obtención de las cantidades de esto materiales, se dividió a cantidad de fibra para 30, ya que según las normas viales cada poste tiene una separación de 30 metros entre ellos. De esta manera se obtiene el monto total de herrajes, y para el valor de las pinzas tensoras, multiplicamos ese valor para 2. Los valores obtenidos en la tabla 3.5.3.1 están cuantificados para toda la red de fibra, es decir el valor de \$11861.60 es considerado como monto total para los 28 puertos, debido a que este tipo de materiales son usados conforme se presente la situación en el campo, por lo que es necesario tener estos materiales en stock.

### 3.8.5 Mano de obra

Tabla 3.5.4.1 Tabla de costos mano de obra en el enlace principal

<b>COD</b>	<b>Descripción del Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant</b>	<b>Costo/Uni [\$]</b>	<b>Total [\$]</b>
<b>T.01</b>	Montaje y programación de OLT	Uni	1	900.00	900.00
<b>T.02</b>	Armado de Rack y ODF	Uni	1	200.00	200.00
<b>TOTAL</b>					<b>1100.00</b>

Tabla 3.5.4.2 Tabla de costos para armado de cajas y mangas NAP

<b>COD</b>	<b>Descripción del Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant</b>	<b>Costo/Uni [\$]</b>	<b>Total [\$]</b>
<b>T.03</b>	Montaje de Splitter 1x16	Uni	1	30.00	30.00
<b>T.04</b>	Montaje de Splitter 1x8	Uni	16	20	30.00
<b>T.05</b>	Armado de Manga	Uni	1	50.00	60.00
<b>T.06</b>	Fusiones en las cajas	Uni	18	10.00	120.00
<b>TOTAL</b>					<b>240.00</b>

En la tabla 3.5.4.1 observamos el valor de la configuración de los elementos encontrados o ubicados en la oficina central, con un monto de \$1100.00, mientras que en la tabla 3.5.4.2 evidenciamos los valores del montado por puerto de nuestro polígono. Vemos que por puerto tenemos un valor de \$240, dicho valor debe ser multiplicado por los 28 puertos, obteniendo un valor final de \$6720 como mano de obra. Estos valores fueron referenciados con contratistas del medio, para mayor aproximación a valores reales.

### 3.8.6 Adicionales

**Tabla 3.5.5.1 Tabla de costos materiales adicionales que el cliente solicitó**

<b>COD</b>	<b>Descripción del Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cant</b>	<b>Costo/Uni [\$]</b>	<b>Total [\$]</b>
<b>A.01</b>	roseta óptica APC	Uni	1	3.75	3.75
<b>A.02</b>	ONU Huawei EG8010H GPON	Uni	1	14.00	14.00
<b>A.03</b>	TP-LINK-C50-W	Uni	1	32.00	32.00
<b>A.04</b>	IPTV SET-TOP BOX (cualquier marca)	Uni	1	25.00	25.00
<b>A.05</b>	TELÉFONO IP GRANDSTREAM GXP-2160	Uni	1	86.00	86.00
	<b>TOTAL</b>				<b>160.75</b>

En la tabla 3.5.5.1 notamos materiales necesarios para nuestra de red FTTH. Estos equipos pertenecen a la línea final de clientes, y son los que nos permitirán establecer conexión con nuestra red interna, y así poder enviar al cliente los servicios de datos, voz y video.

**Tabla 3.5.1 Tabla de costo Final**

<b>Sección</b>	<b>Valor [\$]</b>
<i>Enlace Principal</i>	6023.00
<i>Enlace por puerto</i>	62759.44
<i>Instalación</i>	11861.60
<i>Mano de Obra (principal)</i>	1100.00
<i>Mano de Obra (por puerto)</i>	6720.00
<b>TOTAL</b>	<b>88464.04</b>

Finalmente recopilando los datos en la tabla 3.5.1, evidenciamos que nuestro polígono total, es decir nuestra de red de fibra óptica, se puede realizarse en su totalidad con una cantidad de \$88464.04, aquí no incluimos los valores adicionales.

# Capítulo 4

## 4 Conclusiones y Recomendaciones

### 4.4 Conclusiones

Durante el desarrollo de este proyecto integrador, hemos encontrado aspectos y soluciones que han mejorado al mismo para que su desarrollo sea eficiente y coherente. Inicialmente este proyecto fue pensado y realizado directamente para el cliente INSYSRED, sin embargo, los procesos propuestos en este trabajo permiten extenderlo para poder ser usado en cualquier ISP que requiera o necesite brindar cobertura mediante una red de fibra óptica, convirtiendo así a este trabajo como una propuesta útil y universal.

Por otro lado, de acuerdo con la estructura establecida en la metodología, la red de fibra óptica tiene una gran aceptación de consumo por parte del sector en donde se realizó el levantamiento de información, lo cual significa una garantía e interés para el cliente interesado del presente proyecto. Además de esto, el proyecto tiene como labor principal el envío de datos, voz y video, por lo que, se implementó la recomendación ITU\_T G984.3 el cual nos menciona la manera correcta de encapsular los datos y asignación de anchos de banda dinámicos, para que estos servicios sean transportados mediante fibra. A esta recomendación se le adicionó los títulos habilitantes pertinentes que, en el marco regulatorio, le permite a cualquier ISP poder distribuir estos servicios desde cualquiera de sus establecimientos.

En cuanto al diseño de la red, el software utilizado para la realización de este fue Google Earth Pro [20] el cual es un software libre, con sencillo acceso y fácil manejo, permitiendo minimizar costos para el desarrollo de este proyecto. Entre los aspectos más importante vistos en esta sección, encontramos el uso de dos fibras de 24 hilos para el despliegue de primer nivel, con el objetivo de desarrollar un crecimiento por las parroquias aledañas al sector designado ya que, dentro de este proyecto, una fibra puede dar habilitación a 14 cajas de primer nivel y dar lugar a la construcción de 10 cajas más. Mientras que se usó una fibra de 18 hilos para el despliegue de segundo nivel en ambos casos, implementando el patrón de color según el TIA/EIA-598-B [23] el mismo que se ve reflejado en el software antes mencionado.

Al conocer los materiales que se usaran en la red, se procedió a efectuar el análisis de la atenuación de la red. Para este proceso se utilizó los detalles de la recomendación ITU-T G984.3 el cual menciona el uso de la distancia acumulada de fibra, determinada en la sección 3.2. y la ecuación de presupuesto de potencia. Aquí vemos que para la mayor longitud de fibra la atenuación es de 1.258 dB. Posterior a esto, el mejor y peor escenarios de la fibra hay valores de pérdidas de 23.758 dB y 25.958 dB respectivamente, con estos valores demostramos que la atenuación que la red presenta no supera la sensibilidad del equipo activo, demostrando que el uso de los niveles 1x16 y 1x8 son efectivos en el diseño de la red. Estos valores de atenuación son ratificados en la simulación efectuada en el software Optisystem, con un valor de 24.117 dB obteniendo una relación favorable entre la simulación y los cálculos teóricos.

Finalmente, se procedió a efectuar el análisis de costos de la red diseñada, en esta etapa se segmentó los costos a los polígonos o puertos que presenta la red. Por un lado, vemos que el valor final para el desarrollo de toda la red tiene un costo de \$88464.04. el cálculo del mismo se hizo para que el cliente, no necesite contar con todo este presupuesto. Como se puede evidenciar en la sección 3.5 tenemos como costo inicial al enlace principal y la mano de obra de este, este valor es necesario cubrir desde un inicio debido a que este es la apertura al despliegue de toda la red. No obstante, se puede realizar el despliegue de cada puerto de la red, y de esta manera tenemos como se pudo notar los costos por la creación de cada punto de red tiene un valor que no sobrepasa los \$2400, de esta manera le brindamos al cliente la posibilidad de crear su red entera paulatinamente consiguiendo así que sea viable. Con todos los comentarios antes expuestos, podemos decir que se culminó con éxito el diseño de una red GPON de fibra óptica para brindar servicio de datos, voz y video.

#### **4.5 Recomendaciones**

- Si el cliente está interesado se puede incluir un fondo monetario para el uso del software ArcGIS [31] el mismo que permite la planimetría del sector evitando el recorrido físico del mismo
- Para el futuro del cliente se recomienda la implementación de nodos de fibra óptica para minimizar las atenuaciones por las longitudes de fibra recorridas

# Bibliografía

- [1] EL UNIVERSO, «\$ 300 millones se invirtieron en proyecto de fibra óptica,» El Universo, 22 Agosto 2015. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2015/08/22/nota/5078870/300-millones-se-invirtieron-proyecto-fibra-optica/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2021].
- [2] M. Gonzales, «Arquitectura de Internet,» Redes Telemáticas, 24 09 2012. [En línea]. Available: <https://redestelematicas.com/arquitectura-de-internet/>. [Último acceso: 4 12 2021].
- [3] R. J. M. Tejedor, «GPON (Gigabit Passive Optical Network),» de *BIT*, COIT&AEIT, 2007, p. 166.
- [4] R. A. M. David, «ANÁLISIS DE NORMATIVAS PARA REDES GPON Y LA CALIDAD DE SERVICIO EN ECUADOR,» Universidad Técnica del Norte, Ibarra, 2019.
- [5] J. R. Sánchez, «Las redes inalámbricas, más ventajas que desventajas,» de *Ciencia Administrativa*, Mexico, 2008, pp. 85-89.
- [6] L. G. Barba Molina, «bibdigital.epn,» 10 Septiembre 2007. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/573>.
- [7] PAUL.E.GREEN, Fiber to the home. The new Empowerment, Canada: WILEY, 2019.
- [8] «instaladoresde telecomhoy.com,» 9 julio 2013. [En línea]. Available: <https://www.instaladoresde telecomhoy.com/introduccion-a-la-tecnologia-ftth/#:~:text=El%20equipo%20de%20red%20de,no%20%C3%B3pticos%20de%20la%20red..>
- [9] «fibresplitter,» [En línea]. Available: <http://www.fibresplitter.com/info/aon-vs-pon-networks-which-one-to-choose-for-f-35911490.html>.
- [1 ITU, «TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA,» 2014.  
0]
- [1 Juan, «xxxamin1314.medium,» 23 Octubre 2018. [En línea]. Available:  
1] <https://xxxamin1314.medium.com/cu%C3%A1l-es-la-diferencia-entre-fibra-monomodo-y-multimodo-807869303486>.
- [1 B. BOCK, «Scielo,» [En línea]. Available: <https://www.blackbox.com.mx/mx-mx/page/28535/Recursos/Technical/black-box-explica/Fibre-Optic-Cable/Cable-de-fibra-optica-multimodo-vs-monomodo>.
- [1 «tradeisay,» [En línea]. Available: [https://www.tradeisay.com/articulos/transceptores-de-fibra-3\] optica.html](https://www.tradeisay.com/articulos/transceptores-de-fibra-3] optica.html).
- [1 Juan, 23 Agosto 2018. [En línea]. Available: <https://xxxamin1314.medium.com/cu%C3%A1l-es-la-diferencia-entre-fibra-monomodo-y-multimodo-807869303486>.
- [1 O. Robles, «soporte.syscom,» 12 Diciembre 2021. [En línea]. Available:  
5] <https://soporte.syscom.mx/es/articles/2620040-introduccion-completa-a-los-sistemas-gpon>.

- [1] «check-fiber,» [En línea]. Available: <https://www.check-fiber.com/conectores-opticos/>.  
6]
- [1] «promax,» [En línea]. Available: <https://www.promax.es/esp/noticias/578/tipos-de-conectores-de-fibra-optica-guia-sencilla/>.
- [1] Mikrotik, «Mikrotik,» Mikrotik, [En línea]. Available: <https://mikrotik.com/>. [Último acceso: 15 11 2021].  
8]
- [1] Ubiquiti, «UI,» Ubiquiti, [En línea]. Available: <https://www.ui.com/>. [Último acceso: 15 11 2021].  
9]
- [2] Google, «Google Earth Pro,» 2009. [En línea]. Available:  
0] [https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/es//intl/es\\_ar/enterprise/earthmaps/pdf/earth\\_pro\\_ds.pdf](https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/es//intl/es_ar/enterprise/earthmaps/pdf/earth_pro_ds.pdf).
- [2] Survey Monkey, «Survey Monkey,» Survey Monkey, [En línea]. Available:  
1] <https://es.surveymonkey.com/>. [Último acceso: 5 11 2021].
- [2] L. A. Ramos, «Calculo tamaño de la muestra,» Universidad Nacional Experimental Francisco de  
2] Miranda, Falcon, 2012.
- [2] S. Fernández, «Código de colores en fibras ópticas,» EMTT, 15 06 2010. [En línea]. Available:  
3] <http://marismas-emtt.blogspot.com/2010/06/codigo-de-colores-en-fibras-opticas.html>.. [Último acceso: 23 11 2021].
- [2] Optiwave Photonic Software, «OptiSystem Overview,» Optiwave Photonic Software, [En línea].  
4] Available: <https://optiwave.com/optisystem-overview/>. [Último acceso: 17 12 2021].
- [2] H. Y. Avalos, «Hentel Yanez Avalos CIA. LTDA.,» Hentel, [En línea]. Available:  
5] <https://hentel.com.ec/>. [Último acceso: 2 12 2021].
- [2] Z. mayorista, «ZC mayorista,» ZC mayorista, [En línea]. Available:  
6] <https://zcmayoristas.com/zcwebstore/>. [Último acceso: 2 12 2021].
- [2] Altala, «Altla the network company,» Gabriela Vasconez, [En línea]. Available:  
7] <http://www.altala.net/telecomunicaciones/>. [Último acceso: 2 12 2021].
- [2] Survey Monkey, «Survey Monkey,» Survey Monkey, [En línea]. Available: Survey Monkey. [Último  
8] acceso: 05 11 2021].
- [2] L. A. Ramos, «Calculo tamaño de la muestra,» Universidad Nacional Experimental Francisco de  
9] Miranda , Falcon, 2012.
- [3] S. Fernández, «Código de colores en fibras ópticas,» EMTT, 15 06 2010. [En línea]. Available:  
0] <http://marismas-emtt.blogspot.com/2010/06/codigo-de-colores-en-fibras-opticas.html>. [Último acceso: 20 12 2021].
- [3] viavisolutions, «viavisolutions,» Viavi, [En línea]. Available: <https://www.viavisolutions.com/es-es/red-optica-pasiva-pon>. [Último acceso: 19 12 2021].  
1]

[3 I. T. Union, «Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Transmission convergence layer  
2] specification,» ITU-T, Geneva, 2014.

[3 «telecable,» [En línea]. Available: [https://www.telecable.com/blog/caracteristicas-fibra-  
3\] optica/1533](https://www.telecable.com/blog/caracteristicas-fibra-3] optica/1533).

[3 blackbox. [En línea]. Available: [https://www.blackbox.com.mx/mx-  
4\] mx/page/28535/Recursos/Technical/black-box-explica/Fibre-Optic-Cable/Cable-de-fibra-optica-  
multimodo-vs-monomodo/](https://www.blackbox.com.mx/mx-4] mx/page/28535/Recursos/Technical/black-box-explica/Fibre-Optic-Cable/Cable-de-fibra-optica-multimodo-vs-monomodo/).