



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

CENTRO UNIVERSITARIO UAEM ATLACOMULCO

**Diseño e implementación de una red de comunicaciones basada en fibra
óptica para la localidad de El Salto, Atlacomulco, Estado de México**

T E S I S

Que para obtener el Título de:

Ingeniero en Computación

Presenta:

Erik Pacheco Dorantes

Director de Tesis:

Dr. Everardo Efrén Granda Gutiérrez

Atlacomulco, Estado de México; 12 de junio de 2026.

RESUMEN

En este proyecto se propone el diseño, la implementación y la validación técnica de una red de comunicaciones híbrida para proporcionar acceso a Internet de alta velocidad y disponibilidad en la localidad rural de El Salto, Atlacomulco, Estado de México. Dada la ausencia de infraestructura de fibra óptica y las limitaciones del servicio actual, basado en tecnologías satelitales de baja calidad, se plantea una solución técnica que combina un radioenlace punto a punto (PtP) como enlace troncal y una red de distribución de fibra óptica GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) dentro de la comunidad.

El radioenlace, establecido entre el sitio existente en Santiaguito Maxda y El Salto, fue dimensionado para transportar un flujo de datos de entre 400 y 600 Mbps, garantizando una conexión estable mediante la simulación de la zona de Fresnel, la relación señal-ruido (SNR) y la fiabilidad del enlace bajo condiciones climáticas locales. A partir de este punto de recepción, se despliega una red FTTH (*Fiber to the Home*) que distribuye el servicio directamente a los hogares mediante fibra monomodo, optimizando la calidad de servicio, reduciendo la latencia y asegurando la escalabilidad futura. El diseño contempla un diagnóstico técnico previo, la selección de equipos activos y pasivos conforme a estándares reconocidos y el cálculo del presupuesto de potencia óptica en cada punto de distribución (cajas NAP).

Finalmente, se valida el funcionamiento de la red implementada mediante pruebas de campo que certifican los niveles de potencia (dBm) en cada nodo y el rendimiento real del ancho de banda en los equipos terminales. La consecución de esta meta técnica provee a la localidad de una infraestructura de conectividad, creando las condiciones necesarias para que la población acceda a servicios digitales que potencien su desarrollo educativo, económico y social a futuro.

Palabras clave: radioenlace punto a punto, fibra óptica (FTTH), red óptica pasiva (GPON), presupuesto de potencia, conectividad rural.

ABSTRACT

This project proposes the design, implementation, and technical validation of a hybrid communication network to provide high-speed and reliable Internet access to the rural community of El Salto, Atlacomulco, State of Mexico. Given the absence of fiber-optic infrastructure and the limitations of the current satellite-based service, a sustainable technical solution is proposed that combines a point-to-point (PtP) radio link as the main backbone connection with a fiber-optic distribution network based on GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) within the community.

The radio link established between the existing site in Santiaguito Maxda and El Salto was dimensioned to support a data flow of 400 to 600 Mbps, ensuring a stable connection by simulating the Fresnel zone, signal-to-noise ratio (SNR), and link reliability under local weather conditions. From this reception point, an FTTH (*Fiber to the Home*) network is deployed to distribute the service directly to households using single-mode fiber, optimizing service quality, reducing latency, and ensuring future scalability. The design incorporates a prior technical diagnosis, the selection of active and passive components in compliance with recognized standards, and a calculation of the optical power budget at each distribution point (NAP boxes).

Finally, the network's operation is validated through field tests that certify the optical power levels (dBm) at each node and the actual bandwidth throughput at the terminal equipment. Achieving this technical goal provides the locality with a connectivity infrastructure, creating the necessary conditions for the population to access digital services that will foster their future educational, economic, and social development.

Keywords: Point-to-point radio link, Fiber to the Home (FTTH), Passive Optical Network (GPON), Optical power budget, Rural connectivity.

ÍNDICE

RESUMEN.....	i
ABSTRACT	ii
ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
1 INTRODUCCIÓN	1
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
2.1 Definición del problema.....	4
2.2 Objetivos de investigación	5
2.3 Preguntas de investigación.....	5
2.4 Justificación	6
2.5 Impactos	7
2.6 Meta de ingeniería.....	8
3 ESTADO DEL ARTE.....	9
3.1 Estudios relacionados.....	9
3.2 Conclusiones sobre el estado del arte.....	19
4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	20
4.1 Comunicación mediante fibra óptica	20
4.1.1 Tipos de fibra óptica, por su modo.....	21
4.1.2 Tipos de fibra óptica según la terminación del cableado	21
4.1.3 Terminal de línea óptica.....	22
4.1.4 Red óptica pasiva	22
4.1.5 Conectores para fibra óptica.....	23
4.1.6 Fusionadora	25
4.2 Medición de la potencia	26
4.2.1 Atenuación	27
4.2.2 Medidor de potencia.....	27
4.2.3 Reflectómetro	28

4.3	Comunicaciones por radioenlace	29
4.3.1	Enlace punto a punto	29
4.3.2	Interferencia en Radioenlaces	30
4.3.3	Emisor y receptor de un radioenlace	30
4.4	inyector POE	31
4.4.1	Cable Ethernet	31
4.4.2	Normas para cableado estructurado	32
4.4.3	Torre arriostrada.....	32
4.5	Gestión y administración de redes	33
5	MÉTODOS	35
5.1	Descripción conceptual de la red	35
5.2	Requerimientos de la etapa de radioenlaces.....	36
5.2.1	Mimosa C5c	37
5.2.2	Antena direccional	38
5.2.3	Tramo de torre arriostrada.....	38
5.2.4	Cable de retenida.....	39
5.2.5	Perro de retenida	40
5.3	Componentes de la red pasiva.....	41
5.3.1	OLT V-SOL	41
5.3.2	Fusionadora Ai-30 Linkedpro	42
5.3.3	ONT Huawei	44
5.3.4	Fibra óptica de 4 hilos	45
5.3.5	Cajas NAP de 8 puertos	46
5.3.6	Remate tipo grapa para cable drop plano	47
5.3.7	Hebillas de acero inoxidable 201	48
5.3.8	Herraje tipo "D" pequeño con chaveta.....	49
5.3.9	Flejadora manual	49
5.3.10	Splitters desbalanceados	50
5.4	Diseño e implementación.....	51
5.4.1	Diseño del enlace punto a punto	51

5.4.2	Diseño de la red de fibra óptica.....	60
6	RESULTADOS.....	68
6.1.1	Configuración de equipo Mimosa C5c (BASE)	70
6.1.2	Configuración del equipo Mimosa C5c (REMOTO).....	72
6.1.3	Tendido de la red de fibra óptica.....	77
6.2	Prueba de instalación de servicio de Internet.....	90
6.2.1	Pruebas de funcionamiento	97
	CONCLUSIONES	101
	REFERENCIAS	103
	GLOSARIO	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Matriz de análisis de la literatura para determinar el estado del arte.	15
Tabla 5.1 Tipos de splitters desbalanceados.	50
Tabla 5.2 Número de poste y coordenadas de la comunidad del salto	61
Tabla 5.3. Número de caja, número de puertos y ubicación de instalación.	62
Tabla 6.1 Resumen de mediciones de potencia óptica en cajas NAP.	88
Tabla 6.2 Pruebas de funcionamiento de la red.	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Componentes de la fibra óptica (The Fiber Optic Association Inc., 2018). ...	20
Figura 4.2 Conector SC/PC (PROMAX, 2019).	24
Figura 4.3 Conector SC/UPC (PROMAX, 2019).	25
Figura 4.4. Conector SC/APC (PROMAX, 2019).	25
Figura 4.5 Medidor de potencia para fibra óptica (Cabazos, 2026).	28
Figura 4.6 Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo.	29
Figura 4.7 Normas de cableado estructurado (FS.COM INC, 2023).	32
Figura 4.8 Ejemplo de torre arriostrada (elaboración propia).	33
Figura 5.1 Radio Mimosa C5c (Elaboración propia).	37
Figura 5.2 Antena direccional dish 30dBi (Syscom, 2025).	38
Figura 5.3 Tramo de Torre Arriostrada de 3 m x 30 cm (elaboración propia).	39
Figura 5.4 Cable de retenida de 7 hilos trenzados (Syscom, 2025).	40
Figura 5.5 Perro/ Abrazadera Acero Forjado para Cable de 1/8" (Syscom, 2025).	41
Figura 5.6 OLT V SOL de un puerto PON (SOL, 2025).	42
Figura 5.7 Fusionadora Ai-30 Linkedpro (Syscom, 2025).	44
Figura 5.8 La ONT Huawei EG8021V5 (Syscom, 2025).	45
Figura 5.9 Componentes de la fibra óptica plana (Syscom, 2025).	46
Figura 5.10 Caja NAP con Splitter 1x8 SC/APC (Syscom, 2025).	47
Figura 5.11 Remate tipo grapa para cable drop Plano (Syscom, 2025).	48
Figura 5.12 Hebillas de acero inoxidable 201 (Syscom, 2025).	48
Figura 5.13 Herraje tipo "D" pequeño con chaveta (Syscom, 2025).	49
Figura 5.14 Flejadora manual (Syscom, 2025).	50
Figura 5.15 Inicio de sesión en Cloud Mimosa (elaboración propia).	51
Figura 5.16 Página de inicio de Mimosa para el diseño de red (elaboración propia).	52
Figura 5.17 Creación del grupo para el proyecto El Salto (elaboración propia).	53
Figura 5.18 Creación del nuevo enlace PtP (elaboración propia).	53
Figura 5.19 Ingreso de las coordenadas de los puntos A y B (elaboración propia).	54
Figura 5.20 Equipos y sus características para el enlace PtP (elaboración propia).	54

Figura 5.21 Configuración de frecuencia y pérdidas por interferencia (elaboración propia).	55
Figura 5.22 Detalles del clima que pueden influir en el desempeño del enlace (elaboración propia).	56
Figura 5.23 Resumen y datos adicionales del enlace PtP (elaboración propia).	57
Figura 5.24 Análisis de la trayectoria del enlace PtP (elaboración propia).	59
Figura 5.25 Ubicación en Google Maps, del poste (elaboración propia.)	61
Figura 5.26 Creación de proyecto en Google Earth (elaboración propia).	63
Figura 5.27 Delimitación de la zona del proyecto (elaboración propia).	64
Figura 5.28 Ingreso de coordenadas y número de poste (elaboración propia.)	64
Figura 5.29 Visualización de los postes agregados en Google Earth (elaboración propia).	65
Figura 5.30 Información de las cajas NAP (elaboración propia).	65
Figura 5.31 Red principal de fibra óptica de 4 hilos (elaboración propia).	66
Figura 5.32 Derivaciones con fibra óptica de 1 hilo (elaboración propia).	66
Figura 5.33 Visualización de todos los elementos de la red de fibra óptica (elaboración propia).	67
Figura 6.1 Generación del código de activación para el Mimosa C5c (elaboración propia).	68
Figura 6.2 Descarga de firmware más reciente para radio C5c (elaboración propia).	69
Figura 6.3 Código de desbloqueo de la radio Mimosa C5c (elaboración propia).	70
Figura 6.4 Cambio del nombre del radio C5c Base (elaboración propia).	70
Figura 6.5 Configuración de IP en el radio base (elaboración propia).	71
Figura 6.6 Configuración del modo de trabajo (elaboración propia.)	71
Figura 6.7 Configuración de frecuencia y canal de transmisión (elaboración propia).	72
Figura 6.8 Configuración del nombre del equipo remoto (elaboración propia).	72
Figura 6.9 Configuración de IP del equipo remoto (elaboración propia).	73
Figura 6.10 Configuración del modo de trabajo del radio remoto (elaboración propia).	73
Figura 6.11 Instalación del plato Dish base (elaboración propia).	74
Figura 6.12 Instalación y cableado de la radio Mimosa (elaboración propia).	74

Figura 6.13 Puerto que proporcionará el internet para EL Salto (elaboración propia). ...	75
Figura 6.14 Levantamiento de torre e instalación del plato Dish (elaboración propia)...	75
Figura 6.15 Instalación y cableado de la radio Mimosa C5c “Station” (elaboración propia).	76
Figura 6.16 Configuración del enlace para una mejor transmisión de datos (elaboración propia).	76
Figura 6.17 Prueba de velocidad del enlace (elaboración propia).	77
Figura 6.18 Fibra óptica drop 4 hilos figura 8 con mensajero (elaboración propia).....	78
Figura 6.19 Tendido de la red troncal de fibra óptica (elaboración propia).	79
Figura 6.20 Reserva para mantenimiento e instalación de cajas NAP (elaboración propia).	80
Figura 6.21 Instalación final de la red troncal (elaboración propia).	80
Figura 6.22 Tendido del primer ramal o derivación (elaboración propia).....	80
Figura 6.23 Tendido final de la primera derivación (elaboración propia).	81
Figura 6.24 Tendido de la segunda derivación o ramal (elaboración propia).....	81
Figura 6.25 Fusión de Splitter 1x2 para alimentación de hilos azul y naranja. (elaboración propia).	82
Figura 6.26 Potencia de la primera caja NAP (elaboración propia).	82
Figura 6.27 Potencia de la segunda caja NAP (elaboración propia).....	83
Figura 6.28 Potencia de la tercera caja NAP (elaboración propia).	84
Figura 6.29 Potencia de la cuarta caja NAP (elaboración propia).	84
Figura 6.30 Potencia de la quinta caja NAP (elaboración propia).....	85
Figura 6.31 Potencia de la sexta caja NAP (elaboración propia).....	85
Figura 6.32 Potencia de la séptima caja NAP (elaboración propia).	86
Figura 6.33 Potencia de la octava caja NAP. Fuente:(Elaboración propia).....	86
Figura 6.34 Potencia de la novena caja NAP (elaboración propia).	87
Figura 6.35 Potencia de la décima caja NAP (elaboración propia).	87
Figura 6.36 Potencia de la undécima caja NAP (elaboración propia).	88
Figura 6.37 Fusión de la fibra Drop con el jumper SC/APC (elaboración propia).....	90
Figura 6.38 Conexión al puerto de la caja NAP (elaboración propia).	91

Figura 6.39 Medición de potencia en el domicilio (elaboración propia).	91
Figura 6.40 Inicio de sesión (elaboración propia).....	92
Figura 6.41 Creación de perfil en la ONT (elaboración propia).	93
Figura 6.42 Configuración del Wi-fi (elaboración propia).	93
Figura 6.43 Agregar nuevo cliente (elaboración propia).	94
Figura 6.44 Datos de la conexión PruebaSalto (elaboración propia).....	95
Figura 6.45 Datos del cliente (elaboración propia).	95
Figura 6.46 Configuración de días de pago (elaboración propia).	96
Figura 6.47 Registro correcto del cliente PruebaSalto (elaboración prueba).....	97
Figura 6.48 Prueba de velocidad (elaboración propia).	97

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el acceso a Internet ha dejado de ser un lujo y se ha convertido en una necesidad fundamental. La conectividad digital es el motor que impulsa la educación, el teletrabajo, el acceso a servicios de salud y la comunicación global. Sin embargo, este avance tecnológico no se ha distribuido de manera equitativa: mientras las zonas urbanas disfrutan de redes de alta velocidad, muchas comunidades rurales en México continúan aisladas y enfrentan una marcada "brecha digital" que limita sus oportunidades de desarrollo y las excluye de los beneficios de la era de la información.

Esta realidad es evidente en la localidad de El Salto, en el municipio de Atlacomulco, Estado de México. Debido a su aislamiento geográfico y su baja densidad de población, los grandes proveedores de servicios de telecomunicaciones no han considerado rentable invertir en la infraestructura necesaria para llevar fibra óptica a la comunidad. Como consecuencia, los habitantes dependen de alternativas limitadas, costosas y de baja calidad, como las conexiones satelitales, que no satisfacen las demandas mínimas de estabilidad y velocidad que exige el mundo digital actual.

Para dar respuesta a esta problemática, el presente trabajo de titulación propone el diseño e implementación de una red de comunicaciones híbrida, adaptada específicamente a las condiciones topográficas y a las necesidades de la comunidad. La solución integra dos tecnologías complementarias: en primer lugar, un radioenlace inalámbrico punto a punto (PtP) que funciona como un "puente" de alta capacidad para transportar la señal de Internet desde un punto de conexión existente hasta la comunidad, superando las barreras geográficas sin necesidad de un tendido de cable a larga distancia. En segundo lugar, una red de fibra óptica hasta el hogar (FTTH) que distribuye el servicio directamente a los usuarios finales, garantizando alta velocidad, baja latencia y buena estabilidad.

El alcance de este proyecto se centra en las fases de ingeniería aplicada: desde el diagnóstico del terreno y el diseño de la red mediante herramientas de simulación, hasta

el despliegue físico de la infraestructura y su validación en campo mediante mediciones de potencia y pruebas de rendimiento.

Además de la demostración técnica, este expone que es posible llevar conectividad de calidad a zonas rurales de manera viable y sostenible. Al materializar esta infraestructura, se sientan las bases tecnológicas necesarias para que la comunidad de El Salto pueda, en el futuro, acceder a herramientas digitales que potencien su desarrollo educativo, económico y social, contribuyendo así a reducir la brecha digital en la región.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En un mundo cada vez más conectado, el acceso a internet, o su falta, constituye un factor de desigualdad social. La pandemia de COVID-19, que se presentó hace algunos años, obligó a los habitantes de prácticamente todo el planeta a migrar a la dimensión digital y puso de relieve el privilegio de contar con una conexión estable a la mano (Godoy Trujillo & Caiza Quishpe, 2022).

Aunado a esto, es importante destacar que en diversas zonas rurales de México existe un acceso limitado a los servicios de Internet, ya que los principales operadores comerciales consideran poco rentable invertir en infraestructura de telecomunicaciones en localidades con baja densidad poblacional y difícil acceso geográfico. De acuerdo con datos de la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH), únicamente el 66 % de la población rural cuenta con acceso a Internet, una cifra considerablemente menor que en las zonas urbanas (INEGI, 2023).

Adicionalmente, se ha identificado que miles de localidades rurales del país continúan sin servicios de conectividad debido a los elevados costos de despliegue y al reducido número de usuarios potenciales. En particular, se detectó que la localidad de El Salto, en Atlacomulco, Estado de México, no cuenta con servicio de Internet por fibra óptica, ya que se encuentra en una zona aislada y de difícil acceso geográfico, además de contar con una población aproximada de 375 habitantes (PueblosAmerica.com, 2024), lo que ha limitado el interés de los grandes operadores en realizar inversiones en infraestructura de telecomunicaciones. En un estudio interno, se encontró que el costo de los servicios de Internet que ofrecen las compañías tradicionales a las comunidades rurales es de aproximadamente un 40% más caro en comparación con el costo promedio pagado en las ciudades, y que dicho costo no incluye el servicio de fibra óptica.

Por todo lo anterior, se propone implementar dos tecnologías: establecer un enlace punto a punto y distribuir la localidad mediante fibra óptica para brindar un servicio de

internet estable y rápido. Se considera que llevar este servicio a la comunidad aporta mejoras en diversos aspectos, tanto sociales como privados, para lograr un crecimiento personal y social y así disponer de más fuentes de información y comunicación para los pobladores.

2.1 Definición del problema

A pesar de los avances tecnológicos en el sector de las telecomunicaciones a nivel mundial, muchas comunidades rurales de México, como la de El Salto, en el municipio de Atlacomulco, continúan enfrentando una marcada exclusión digital. La falta de acceso a servicios de Internet confiables y de calidad limita significativamente las oportunidades de desarrollo educativo, económico y social de sus habitantes, lo que incrementa las desigualdades en comparación con las zonas urbanas. Lo anterior obedece, en gran medida, a la ausencia de infraestructura de telecomunicaciones, a los elevados costos asociados al despliegue de redes de acceso de fibra óptica y a la baja rentabilidad de las localidades de baja densidad poblacional. En consecuencia, los principales proveedores de servicios de Internet suelen concentrar sus inversiones en zonas urbanas o de mayor demanda, donde es posible recuperar la inversión en menor tiempo, dejando sin cobertura a comunidades aisladas como El Salto.

En este contexto, es importante explorar soluciones sostenibles y técnicamente viables que permitan cerrar la brecha digital, mediante el impulso de la inversión de pequeñas y medianas empresas capaces de atender este segmento de mercado. Una alternativa prometedora es el diseño e implementación de una red de comunicaciones híbrida que integra dos tecnologías, como la fibra óptica y los enlaces inalámbricos, que operan simultáneamente, se adaptan a las condiciones específicas de la localidad y garantizan una conectividad estable, eficiente y confiable.

2.2 Objetivos de investigación

Objetivo General

Implementar una red de comunicaciones híbrida (radioenlace y fibra óptica GPON/FTTH), diseñada para utilizar fibra óptica y enlaces inalámbricos punto a punto, que garantice los parámetros de calidad de servicio mediante una infraestructura de conectividad robusta, escalable y de alta velocidad para la comunidad rural de El Salto, Atlacomulco, Estado de México, contribuyendo potencialmente a la reducción de la brecha digital de forma técnica y socialmente sostenible.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar las condiciones topográficas, geográficas e infraestructuras existentes en la localidad de El Salto para definir los requerimientos técnicos y dimensionar correctamente el enlace troncal y la red de distribución.
2. Diseñar la arquitectura de la red híbrida mediante herramientas de simulación (Cloud Mimoso y Google Earth), dimensionando los equipos activos y pasivos, y calculando el presupuesto de potencia óptica y los márgenes de desvanecimiento del radioenlace bajo condiciones climáticas locales.
3. Ejecutar el despliegue físico de la infraestructura de telecomunicaciones, incluyendo el montaje de la torre y las antenas para el enlace punto a punto, así como el tendido aéreo, el empalme y la distribución de la red de fibra óptica FTTH hasta las cajas NAP.
4. Validar el funcionamiento de la red implementada mediante pruebas de campo que certifiquen los niveles de potencia óptica (dBm) en cada punto de distribución, la estabilidad del radioenlace y el rendimiento real del ancho de banda en los equipos terminales (ONT).

2.3 Preguntas de investigación

1. ¿Cuáles son los retos y las dificultades para proporcionar un servicio de conectividad a Internet en poblaciones rurales de difícil acceso?

2. ¿Cuáles son las mejores tecnologías que permitirían obtener un retorno de la inversión para una población con un segmento de mercado reducido en una comunidad rural?
3. ¿Cuáles son las características del servicio que satisfacen adecuadamente los requerimientos de conectividad en una comunidad rural de difícil acceso?

2.4 Justificación

El pueblo de El Salto es una comunidad rural perteneciente al municipio de Atlacomulco, en el Estado de México, con una población de 375 habitantes. Esta comunidad rural está ubicada geográficamente entre sierras; por lo tanto, el acceso a los servicios es limitado, y no ha sido atendido por los proveedores comerciales.

Como comunidad rural, El Salto enfrenta desafíos significativos en el acceso a la tecnología y a la conectividad digital, lo que contribuye a la existencia de una brecha digital. Las áreas rurales a menudo carecen de la infraestructura necesaria para ofrecer acceso a internet confiable y de alta velocidad. La ausencia de cableado de fibra óptica y la distancia aproximada de 5 a 6 kilómetros respecto a las centrales telefónicas constituyen un factor que limita significativamente la prestación eficiente de los servicios de banda ancha.

En la actualidad, el acceso a Internet se reconoce no solo como una herramienta de comunicación, sino también como una fuente primordial de información; en este sentido, garantizar su disponibilidad resulta de vital importancia en la sociedad contemporánea, al ofrecer un medio que posibilita la interconexión y la comunicación de las personas a nivel local, regional y global.

De este modo, este proyecto tiene como objetivo brindar acceso a internet de alta velocidad y confiable a la población de El Salto, permitiendo, a su vez, mejorar la conectividad en la comunidad, facilitar el acceso a servicios en línea y promover el desarrollo socioeconómico, con el fin de reducir la brecha digital en la comunidad rural. Potencialmente, también facilitará el acceso a recursos educativos en línea y a herramientas de aprendizaje en el ámbito de la informática. Esto puede tener un impacto

positivo en la educación de los residentes de El Salto, permitiéndoles adquirir habilidades en programación, desarrollo de software, ciencia de datos y otras áreas relacionadas con la informática.

2.5 Impactos

- Científico. Con base en el conocimiento teórico, principalmente derivado del estudio del estado del arte y del aprendizaje empírico obtenido durante el desarrollo del presente proyecto, se cuenta con una sólida base de conocimientos para replicar este proyecto en otras comunidades, así como para su expansión en zonas cercanas.
- Tecnológico. La fibra óptica proporciona una transmisión de datos más rápida y un mayor ancho de banda que otras tecnologías de conexión a internet, como el cable coaxial o el DSL (*Digital Subscriber Line*). Esto permite que los residentes accedan a servicios en línea, como la transmisión de video en alta definición, las videoconferencias, los juegos en línea y las descargas de archivos de gran tamaño, con mayor velocidad y fluidez.
- Económico. Una conexión a Internet rápida y confiable, proporcionada por una red de fibra óptica, puede mejorar el acceso a servicios de educación en línea, formación profesional y telemedicina en la comunidad. Esto permitirá a los residentes de El Salto acceder a recursos educativos, tomar cursos en línea y participar en programas de capacitación de forma más eficiente y cómoda, lo que ayudará a que los usuarios no tengan que salir de su hogar y a ahorrar en transporte.
- Social. Una conexión a Internet más rápida y confiable puede fortalecer los lazos comunitarios al facilitar la comunicación y el intercambio de información entre los residentes de El Salto. Esto puede fomentar la participación cívica, la colaboración en proyectos comunitarios y el acceso a servicios gubernamentales en línea, promoviendo así el desarrollo social y el bienestar de la comunidad.

2.6 Meta de ingeniería

Diseñar, implementar y validar técnicamente una solución de red de comunicaciones híbrida para la localidad de El Salto, Atlacomulco, Estado de México. El alcance del proyecto contempla el despliegue de un enlace troncal inalámbrico punto a punto (PtP) y de una red de distribución de última milla basada en tecnología GPON/FTTH, dimensionada y configurada conforme a los estándares internacionales de telecomunicaciones (ITU-T, TIA/EIA).

La meta se centra en garantizar la viabilidad técnica del sistema mediante la simulación del enlace, el cálculo y la validación del presupuesto de potencia óptica, y las pruebas de funcionamiento en campo. Como resultado prospectivo, esta infraestructura habilitará el acceso a servicios de internet de alta velocidad y baja latencia, sentando las bases tecnológicas necesarias para potenciar el desarrollo educativo, económico y social de la comunidad; aunque con un impacto potencial, la evaluación sociológica de dicho impacto no forma parte del alcance de esta investigación.

3 ESTADO DEL ARTE

La expansión de la conectividad en zonas rurales y de difícil acceso ha sido relevante en los últimos años, ante el avance de las tecnologías de telecomunicaciones y la necesidad de reducir la brecha digital. En este contexto, diversas investigaciones han explorado soluciones técnicas para proporcionar acceso a Internet de calidad, centrándose en dos tecnologías clave: la fibra óptica y los radioenlaces inalámbricos. Mientras que la fibra óptica destaca por su alta capacidad de transmisión, baja latencia y estabilidad, los enlaces inalámbricos punto a punto ofrecen una alternativa flexible y de menor costo, ideal para entornos geográficamente complejos.

Este apartado analiza trabajos previos que abordan el diseño, la implementación y la optimización de redes híbridas y de acceso en diferentes regiones, con el fin de identificar buenas prácticas, metodologías efectivas y áreas de oportunidad que fundamenten técnicamente el presente proyecto, orientado a llevar conectividad sostenible a la comunidad rural de El Salto, en Atlacomulco, Estado de México.

3.1 Estudios relacionados

Sara Reynolds (2010) publicó un artículo en el que presenta las redes de comunicación por fibra óptica; en él se describen sus aplicaciones en las telecomunicaciones y su evolución, orientada a satisfacer las necesidades de conectividad a Internet. Las redes ópticas procesan la señal en el dominio óptico, y su evolución se debe principalmente a dispositivos que realizan este procesamiento; estos equipos tienen capacidad de conmutación de hasta 10 Gbps, lo que aumenta la velocidad de transmisión de datos.

Agustín Olmos Riquelme (2018) llevó a cabo un estudio práctico sobre la implementación de una red de distribución de fibra óptica hasta el hogar (FTTH, por sus siglas en inglés, *Fiber To The Home*). Su objetivo fue satisfacer las demandas de acceso a la banda ancha mediante fibra óptica en viviendas particulares y en negocios. En su

investigación abordó aspectos importantes, como las tecnologías, los componentes, las herramientas y los procedimientos necesarios para la instalación de fibra óptica, y dio a conocer un avance significativo en la implementación de una red de fibra óptica para la transmisión de datos.

En otro estudio, realizado por Valarezo Loayza (2020), se presenta una guía metodológica para la recopilación de información de apoyo al diseño de redes FTTH-GPON (Fibra hasta el Hogar con Red Óptica Pasiva de Capacidad Gigabit) con un enfoque en Calidad de Servicio (QoS, por el acrónimo en inglés de *Quality of Service*). Debido al aumento exponencial en la demanda de datos por parte de los usuarios y la migración de las empresas hacia estas tecnologías, se desarrolló una metodología que define una secuencia específica de datos esenciales para planificar redes FTTH-GPON. Entre los datos clave están la delimitación de áreas de cobertura, la definición de la población y muestra, el cálculo del crecimiento de suscriptores y la estimación del ancho de banda en los hogares.

Los ingenieros Bryan Alejandro Cadena Borja y Bryan Steeven Uzuay Valenzuela (2022) realizaron un trabajo de titulación en la carrera de Tecnólogo en Electrónica y Telecomunicaciones, en el que implementaron un radioenlace para ampliar la cobertura de internet en la provincia de Cotopaxi. En el trabajo que realizaron se muestran las características de los radios que utilizaron: dos equipos Mimosa C5c, con una capacidad de transmisión máxima de 700 Mbps. Se muestra desde la instalación y la configuración de los equipos hasta las pruebas de funcionamiento.

De manera similar, Gabriel Ricardo Solano Sánchez y Diana Salomé Zhagña Castro (2021) presentaron el proyecto titulado “Diseño, implementación y prueba de una red de fibra óptica para el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana”. En este proyecto se abordan diferentes aspectos como la metodología que se usó para desarrollar el proyecto, de igual manera especifican los estándares sobre los que se debe trabajar y los materiales que ocuparon y los diferentes tipos de recursos que se utilizaron, asimismo como la obtención de resultados al final del proyecto. Esto ofrece un

panorama amplio de lo que se utiliza o llega a utilizarse en la realización de un proyecto como este, que es de suma importancia para la comunicación y transmisión de datos.

En la carrera en Ingeniería Electrónica, Jonathan Balois Guerrero Pico (2022) presentó un trabajo de grado el cual lleva por título “Diseño de un sistema de radioenlace para soportar volumen de tráfico de datos de internet en la empresa Globaltronik S. A. S.” En este trabajo se expone cómo aumentar la capacidad y estabilidad de la troncal Alpes y Cerro Mono; estos dos últimos son los puntos en los cuales se llevó a cabo el proyecto. Este proyecto se llevó a cabo siguiendo una metodología que inicialmente identificó los equipos de telecomunicaciones que conformaban la troncal, y posteriormente recopiló información sobre fallas y capacidad de los enlaces. Este proceso permitió elaborar un diagnóstico del sistema antes de escoger los equipos para el nuevo sistema de radioenlace. Para ello, se realizó un estudio comparativo de marcas y modelos disponibles en el mercado, priorizando aquella con la capacidad mínima de soporte de tráfico de datos requerida por la troncal. Finalmente, se evaluó el diseño final del sistema mediante simulación en software, considerando tanto las condiciones óptimas de operación de los equipos como su rendimiento en condiciones climáticas adversas.

En la carrera de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática, Nerea Pineda Fuster (2023) realizó un trabajo de fin de grado que consistía en el despliegue de una red de fibra óptica hasta el hogar FFTH. El trabajo aborda diferentes puntos importantes para la realización del proyecto, desde que se inicia con el diseño de la red, la identificación de los caminos y lugares donde se colocarán las cajas o conexiones para los clientes. Adicionalmente, se indica el tipo de metodología que utilizan, así como los tipos de conectores y divisores empleados; asimismo, se calcula el número de clientes que atienden por cada caja NAP (Network Access Point, o Punto de Acceso de Red) y su distribución.

En otro trabajo de tesis se identifica el proceso de diseño de una red FTTH, a partir de la teoría de la optimización de redes. La implementación de la red mejoró la calidad del servicio en la comunidad de Sabanillas Tuxpan, Veracruz, eliminando las interrupciones que frecuentemente impedían una conectividad eficiente, reconociendo la

importancia de la comunicación en los ámbitos social, económico y tecnológico (Badillo Sanchez, 2024).

En un estudio realizado por Manuel Torres Vásquez, orientado al análisis de redes de comunicación inalámbricas que operan en las bandas de frecuencia utilizadas por las tecnologías WiFi y WiMAX, se evaluó el efecto de las pérdidas de inserción producidas por diversos obstáculos presentes en los enlaces de transmisión y recepción, tanto en entornos interiores como en exteriores. La investigación analizó cómo materiales como paredes, ventanas y puertas, así como personas, y elementos propios de escenarios exteriores, entre ellos árboles, vegetación y otras obstrucciones, provocan una disminución de la potencia de la señal, expresada en decibelios (dB). Los resultados obtenidos evidencian que la presencia de obstáculos constituye uno de los principales factores que afectan el desempeño de los radioenlaces, por lo que su consideración en la etapa de diseño resulta fundamental para garantizar niveles adecuados de señal, disponibilidad y calidad del servicio (Vásquez, 2017).

En un estudio desarrollado para la comunidad de Chontapunta, ubicada en la provincia de Napo, se planteó el diseño de un radioenlace como alternativa técnica y económicamente viable para proporcionar servicios de telecomunicaciones en una zona con acceso limitado. La investigación empleó la metodología de Investigación en Ciencias del Diseño (*Design Science Research*, DSR), complementada con trabajo de campo para obtener coordenadas geográficas y analizar la viabilidad del enlace mediante el software Radio Mobile. Asimismo, se utilizó Google Earth para recopilar información geográfica y se realizaron diversas simulaciones con el propósito de validar el diseño propuesto. Como principal aporte, el estudio evidenció la utilidad de herramientas como Radio Mobile y Google Earth para el diseño, simulación y validación de radioenlaces destinados a comunidades rurales, lo que constituye un referente para el desarrollo de soluciones de conectividad en zonas con infraestructura de telecomunicaciones limitada (LUCAS, 2022).

Nieto Pacheco desarrollo un trabajo titulado La fibra óptica como medio para el desarrollo de las telecomunicaciones en Ecuador, se desarrolló una investigación con el

objetivo de analizar la importancia de la fibra óptica como medio de transmisión en las redes de telecomunicaciones. La investigación se realizó mediante un diseño bibliográfico de tipo documental, sustentado en una revisión sistemática de artículos científicos, documentos técnicos y textos especializados. Como parte del estudio, se describieron los principales servicios de telecomunicaciones (voz, datos y televisión), la estructura de las redes de telecomunicaciones y los medios de transmisión más utilizados, realizando una comparación entre el par trenzado, el cable coaxial y la fibra óptica. Asimismo, se analizaron las características físicas y el funcionamiento de la fibra óptica, destacando su baja atenuación, elevada capacidad de transmisión, inmunidad a las interferencias electromagnéticas y su importancia para el despliegue de redes de banda ancha (Pacheco, 2020).

En un estudio desarrollado por Dioen Biosca Rojas, René Yañez de la Rivera, titulado **Las fibras ópticas: evolución, clasificación y estandarización**, se realizó una revisión sistemática de la literatura con el propósito de analizar el desarrollo histórico, las características técnicas y los procesos de estandarización de las fibras ópticas empleadas en las redes modernas de telecomunicaciones. Para ello, los autores recopilaron y analizaron información proveniente de artículos científicos, documentos técnicos y normas internacionales emitidas por organismos como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T), la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), la Organización Internacional de Normalización (ISO/IEC) y la Asociación de la Industria de las Telecomunicaciones (TIA). A partir de esta revisión, se describieron los diferentes tipos de fibra óptica, tanto multimodo como monomodo, así como sus principales características, aplicaciones y estándares de fabricación e implementación. Asimismo, se destacó la importancia de la estandarización para garantizar el desempeño y la confiabilidad de las redes ópticas, además de identificar las tendencias tecnológicas orientadas al desarrollo de fibras con mayor capacidad de transmisión para satisfacer las crecientes demandas de ancho de banda en las redes de nueva generación (Dioen Biosca Rojas).

A partir del análisis de investigaciones previas, se identifican diversas aproximaciones técnicas y metodológicas para el diseño e implementación de redes de telecomunicaciones, en particular en contextos rurales o de difícil acceso. El resumen de este análisis se presenta en la Tabla 3.1.

En los estudios revisados destacan dos tecnologías predominantes: la fibra óptica y los radioenlaces inalámbricos, cada una con ventajas y limitaciones según el entorno de aplicación. Se observa un claro auge en la implementación de redes FTTH (fibra hasta el hogar) basadas en arquitecturas GPON, que ofrecen alta capacidad de transmisión, baja latencia y escalabilidad, lo que las hace ideales para mejorar la calidad del servicio en comunidades aisladas.

Por otro lado, los proyectos centrados en radioenlaces cubren largas distancias sin necesidad de una infraestructura física extensa, aunque son más susceptibles a las condiciones climáticas y a los obstáculos geográficos. Además, se identifica una tendencia hacia metodologías proyectivas y experimentales que combinan diagnóstico técnico, selección de equipos basada en estándares, simulaciones y pruebas de campo.

Estos antecedentes permiten fundamentar el enfoque híbrido propuesto en este proyecto, que integra un radioenlace punto a punto como enlace troncal y una red de distribución basada en fibra óptica, optimizando así la cobertura, la calidad del servicio y la viabilidad técnica y económica en la localidad de El Salto.

Tabla 3.1. Matriz de análisis de la literatura para determinar el estado del arte.

Fuente	Resumen	Metodología	Áreas de oportunidad
Implementación de una red de distribución de fibra óptica hasta el hogar. (Riquelme, 2018)	Satisfacer las necesidades de banda ancha de los propietarios de viviendas y de negocios. Asimismo, ayuda a reducir la brecha digital existente.	Este estudio abordó diversos aspectos, como tecnologías, elementos, herramientas y procedimientos necesarios para la instalación de fibra óptica.	Da a conocer el gran avance tecnológico que supone la implementación de una red de fibra óptica, la cual mejora la estabilidad y la transmisión de datos. Una desventaja es el costo de implementación.
Implementación de un radioenlace para la expansión de cobertura de internet en la provincia de Cotopaxi. (Cadena Borja & Uzuay Valenzuela, 2022)	Este trabajo aborda aspectos muy importantes de un radioenlace, desde la selección de los equipos y sus características, hasta la configuración e instalación de los equipos. Se realizan las pruebas de funcionalidad.	Este proyecto se realizó en etapas: primero, se realizó un estudio de la visibilidad entre las zonas que se querían comunicar entre sí. Una vez realizado esto, se adquirieron los equipos con las características requeridas. Por último, se realizaron la instalación, la configuración y las pruebas de su funcionamiento.	La implementación de radioenlaces suele ser muy útil para llevar internet a lugares alejados de las zonas pobladas. Algunas desventajas de estos tipos de enlaces son la interferencia o la visibilidad entre equipos.
Diseño de una red de fibra óptica FTTH para un bloque de edificios. (López Fernández, 2018)	Se diseñan los tipos de despliegue más comunes utilizados por una de las principales compañías. Además, se diseña la red de distribución y la de alimentación en un caso específico.	La metodología utilizada en este trabajo es de tipo proyectivo, ya que se centra en el diseño técnico de soluciones de red a partir del análisis de los despliegues más comunes de una de las compañías líderes en telecomunicaciones del país. El proyecto contempla la elaboración de propuestas para la red de distribución y la de alimentación, aplicadas a un caso específico y fundamentadas en los estándares vigentes del sector.	Las redes FTTH utilizan tecnología PON (red óptica pasiva), lo que les permite ofrecer servicios con menos interferencia por ruido y mayor capacidad de ancho de banda, lo que se traduce en una mejora de la calidad, una reducción de costos y una mayor velocidad en la entrega del servicio al usuario.
Diseño, implementación y prueba de una red de fibra óptica para laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana. (Solano Sánchez & Zhagñay Castro, 2021)	Este proyecto tiene como objetivo diseñar, implementar y probar una red de fibra óptica, la cual va a estar diseñada para la parte práctica de los estudiantes de la Universidad Politécnica, y	La metodología empleada en este proyecto es de tipo proyectivo y experimental, con un enfoque aplicado. Se opta por esta metodología porque el propósito principal es el diseño, la implementación	Permite desarrollar soluciones técnicas reales, como el diseño y la puesta en marcha de una red funcional. Al incluir pruebas, se pueden comprobar en campo las decisiones de diseño y ajustarlas si es necesario.

Fuente	Resumen	Metodología	Áreas de oportunidad
	de los diferentes grupos de investigación se especifican las características de los equipos activos y elementos que conforman la red pasiva. Además, se presenta una breve descripción de los equipos y elementos principales de las empresas de comunicaciones de nuestro medio.	y la prueba de una red de fibra óptica orientada al desarrollo práctico de los estudiantes de la Universidad Politécnica. La etapa proyectiva incluye la selección y caracterización de los equipos y la implementación experimental y pruebas.	Combina teoría y práctica, ideal para entornos académicos o de investigación. La implementación y la prueba pueden ser costosas o requerir equipos que no siempre están disponibles.
Diseño de una red de acceso mediante fibra óptica. (Zapardiel Prieto, 2014)	Este proyecto muestra cómo se desarrolla una red de acceso mediante fibra óptica. Lo primero que se realiza es un estudio teórico de las características de la fibra óptica; después, se estudian las topologías de acceso y sus características. Por último, se definen los objetivos y el alcance del proyecto. Muestra todos los conceptos teóricos necesarios para el desarrollo del proyecto.	Este proyecto emplea una metodología de enfoque teórico-práctico, cuyo propósito es diseñar una red de acceso por fibra óptica, combinando el análisis conceptual con el desarrollo técnico. A partir de este análisis, se definen los objetivos, el alcance y los requerimientos del proyecto, tomando en cuenta tanto criterios técnicos como las necesidades prácticas de los usuarios a quienes va dirigido.	La red puede servir como base para proyectos relacionados con la transmisión óptica, las redes GPON, el monitoreo del tráfico y la calidad de servicio. Se pueden establecer convenios con proveedores o empresas del área de telecomunicaciones para prácticas profesionales, donación de equipos o asesorías.
Diseño de las redes de radiofrecuencia para la comunicación entre estación base y router en móviles 5G. (Rincón Aceña, 2022)	Se estudian dos sistemas de radiocomunicación y sus simulaciones para representar un entorno real. Se implementa un radioenlace de servicio fijo entre dos localidades y un servicio de comunicaciones móviles de quinta generación en el punto de destino del radioenlace.	El trabajo emplea una metodología orientada al diseño y simulación de soluciones reales en el campo de las radiocomunicaciones. Se realiza un estudio comparativo entre dos sistemas de radiocomunicación: un radioenlace fijo entre dos poblaciones y un sistema de comunicaciones móviles de quinta generación (5G).	El proyecto ofrece conectividad en zonas remotas, fomenta la capacitación en tecnologías inalámbricas, permite validar redes 5G en entornos reales, impulsa la investigación académica y puede escalarse para brindar servicios inteligentes, como los de salud, seguridad y educación, a las comunidades.
Diseño de un sistema de radioenlace para soportar volumen de tráfico de datos de internet en la empresa Globaltronik S.	En este trabajo se aborda cómo aumentar la capacidad y la estabilidad de la troncal Alpes-Cerro Mono. Estos dos últimos	Utiliza una metodología que comenzó con la identificación de los equipos de telecomunicaciones en la	La metodología permite optimizar recursos existentes, identificar fallas críticas, mejorar la capacidad de los enlaces, elegir equipos más

Fuente	Resumen	Metodología	Áreas de oportunidad
A. S. (Guerrero Pico, 2022)	son los puntos en los que se llevó a cabo el proyecto.	troncal. Luego, se recopiló información sobre las fallas y la capacidad de los enlaces. Esto permitió realizar un diagnóstico del sistema y, posteriormente, seleccionar los equipos adecuados para diseñar el nuevo sistema de radioenlace. El proceso incluyó un estudio comparativo de distintas marcas y equipos del mercado.	eficientes según el mercado, y garantizar decisiones técnicas fundamentadas que facilitan la modernización y sostenibilidad del sistema de radioenlace.
Análisis y diseño de comunicación punto para enlace de datos (Vásquez, 2017).	La investigación analizó cómo materiales como paredes, ventanas y puertas, así como personas, y elementos propios de escenarios exteriores, entre ellos árboles, vegetación y otras obstrucciones, provocan una disminución de la potencia de la señal, expresada en decibelios (dB).	La investigación empleó una metodología experimental de enfoque cuantitativo, ya que se realizaron mediciones y análisis del comportamiento de la señal inalámbrica frente a diferentes obstáculos presentes en entornos interiores y exteriores. A partir de la evaluación de las pérdidas de inserción, expresadas en decibelios (dB), se comparó el impacto de diversos materiales y elementos del entorno sobre la potencia de la señal.	El estudio se concentra en el análisis de las pérdidas de señal en redes inalámbricas WiFi y WiMAX; sin embargo, no considera tecnologías de acceso basadas en fibra óptica, como GPON, las cuales son inmunes a las interferencias electromagnéticas y a las pérdidas ocasionadas por obstáculos físicos en la propagación de señales inalámbricas.
Estudio de factibilidad para el diseño de un proveedor de servicio de internet inalámbrico para la parroquia chontapunta provincia del napo (LUCAS, 2022).	Se realizó el diseño de un radioenlace como alternativa técnica para proporcionar servicios de telecomunicaciones en una zona con acceso limitado.	La investigación empleó la metodología de Investigación en Ciencias del Diseño (Design Science Research, DSR), complementada con trabajo de campo para obtener coordenadas geográficas y analizar la viabilidad del enlace mediante el software Radio Mobile.	Existe la oportunidad de desarrollar una propuesta que evalúe el diseño e implementación de una red GPON como solución de acceso de última milla, complementando o sustituyendo el radioenlace en aquellos escenarios donde la infraestructura de fibra óptica resulte técnica y económicamente viable.
La fibra óptica como medio para el desarrollo de las telecomunicaciones en Ecuador (Pacheco, 2020).	El objetivo general de esta investigación es analizar a la fibra óptica como medio para el desarrollo de las telecomunicaciones en Ecuador	La metodología utilizada se basó en una investigación no experimental, documental y descriptiva no exploratoria.	Esta Investigación se realizó basándose en un diseño bibliográfico de tipo documental. El trabajo se fundamenta en la revisión sistemática, rigurosa

Fuente	Resumen	Metodología	Áreas de oportunidad
		Los resultados que se obtuvieron fueron que la fibra óptica es el medio óptimo para la transmisión de señales de comunicación y como conclusión se determinó que la fibra óptica es el medio adecuado para el desarrollo de las telecomunicaciones en Ecuador	y profunda de material documental de cualquier clase, donde se efectúa un proceso de abstracción científica, generalizando sobre la base de lo fundamental, partiendo de forma ordenada y con objetivos precisos.
Implementación de una red de fibra óptica para el servicio de internet del centro poblado de Hualahoyo (Gomez, 2022).	El acceso a tecnologías de información y telecomunicación se ha vuelto imprescindible para el desarrollo de diversas actividades en el ámbito laboral, académico, incluso actividades cotidianas como trámites, diversión y otros; además se evidencia el constante avance y progreso tecnológico día a día.	La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicado y con un diseño no experimental, orientado al diseño e implementación de una red de fibra óptica para proporcionar el servicio de Internet en el centro poblado de Hualahoyo.	Aunque se reconoce la importancia del acceso a las tecnologías de la información y las telecomunicaciones para el desarrollo social y económico, no se plantea una solución tecnológica específica para reducir la brecha digital. En este contexto, existe la oportunidad de diseñar e implementar una red GPON que proporcione un servicio de Internet de alta capacidad, confiabilidad y escalabilidad para comunidades con acceso limitado a infraestructura de telecomunicaciones
Las fibras ópticas: una revisión de su evolución, estándares y tendencias actuales: Parte I (Dioen Biosca Rojas).	Este artículo presenta una revisión sistemática de la evolución histórica, la clasificación técnica y la estandarización de las fibras ópticas, analizando su desarrollo desde las primeras propuestas conceptuales en la década de 1960 hasta los estándares actuales que soportan las redes de próxima generación.	El artículo emplea una metodología de revisión sistemática de la literatura. Presenta una revisión sistemática de la evolución histórica, la clasificación técnica y la estandarización de las fibras ópticas, analizando publicaciones científicas, estándares internacionales y documentos técnicos para construir un estado del arte de la tecnología.	Existe la oportunidad de desarrollar una investigación aplicada que diseñe y valide una red GPON para proporcionar acceso de banda ancha en comunidades con limitada infraestructura de telecomunicaciones.

3.2 Conclusiones sobre el estado del arte

Los estudios revisados destacan que las redes de fibra óptica, especialmente bajo arquitecturas FTTH y tecnologías GPON, ofrecen un desempeño superior en términos de ancho de banda, baja latencia, inmunidad frente a interferencias electromagnéticas y escalabilidad a largo plazo. Proyectos como los de Riquelme (2018), Pineda Fuster (2023) y Badillo (2024) demuestran que su implementación mejora la calidad del servicio, reduce las interrupciones y permite el acceso a aplicaciones de banda ancha críticas, como la educación en línea, la telemedicina y los servicios digitales gubernamentales. Sin embargo, su principal desafío son los costos iniciales de despliegue, especialmente en zonas con topografía irregular y baja densidad poblacional, como es el caso de El Salto.

Por otro lado, los radioenlaces inalámbricos son una alternativa estratégica para superar barreras geográficas, al permitir el transporte de grandes volúmenes de tráfico sin necesidad de un tendido físico extenso. Trabajos como los de Valenzuela (2021) y Guerrero Pico (2022) evidencian que tecnologías modernas, como Mimosa o Ubiquiti, permiten enlaces punto a punto con capacidades superiores a 500 Mbps, adecuados para servir como troncal de acceso en redes rurales. Aunque son más susceptibles a las condiciones climáticas y requieren una línea de visión entre antenas, su flexibilidad, rapidez de implementación y menor inversión inicial los convierten en una opción viable para conectar localidades aisladas a nodos centrales ya conectados.

En este contexto, la solución más eficiente y sostenible no consiste en elegir entre una u otra tecnología, sino en integrarlas de forma híbrida, aprovechando lo mejor de cada una. Es precisamente esta sinergia la que sustenta el enfoque del presente proyecto: un radioenlace punto a punto como enlace troncal entre Santiaguito Maxda y El Salto, y una red de distribución basada en fibra óptica GPON dentro de la comunidad. Este modelo responde a las condiciones técnicas y geográficas de la zona, optimiza costos, maximiza la calidad del servicio y garantiza una infraestructura escalable para futuras ampliaciones.

4 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Este capítulo desarrolla el sustento teórico necesario para comprender, diseñar y validar la infraestructura de telecomunicaciones implementada en el proyecto. Se examinan los fundamentos de la tecnología de fibra óptica (componentes, atenuación y medición de potencia), los principios de operación de los radioenlaces punto a punto y las herramientas de gestión de red. La revisión de estos conceptos, alineados con estándares internacionales (ITU-T, TIA/EIA), proporciona el criterio técnico que guía la selección de materiales, el cálculo de enlaces y las pruebas de funcionamiento en campo.

4.1 Comunicación mediante fibra óptica

La fibra óptica es un medio físico que transporta señales mediante la transmisión de luz y suele estar compuesta por láminas muy delgadas y flexibles fabricadas a partir de vidrio de alta pureza, cuyo grosor es similar al de un cabello humano. Los componentes de la fibra óptica se muestran en la Figura 4.1. La propagación de la luz se realiza en el núcleo de la fibra, que está rodeado por un revestimiento con un índice de refracción inferior, lo que permite la reflexión interna total y asegura que la señal permanezca confinada en el núcleo durante su recorrido. Adicionalmente, la fibra está recubierta con una capa protectora que la protege frente a la humedad y a otros factores mecánicos o ambientales (The Fiber Optic Association Inc., 2018).

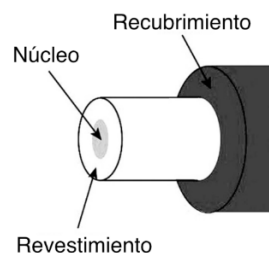


Figura 4.1 Componentes de la fibra óptica (The Fiber Optic Association Inc., 2018).

4.1.1 Tipos de fibra óptica, por su modo

La fibra monomodo (SMF, *Single-Mode Fiber*) es útil para transmitir a largas distancias y para aplicaciones que requieren un ancho de banda elevado. Su diseño permite que la luz viaje por el centro, minimizando la distorsión, lo que permite que los datos circulen a velocidades sorprendentes (info@CITEL, 2010). Sus principales características son:

- Tiene un núcleo muy delgado (aproximadamente 9 micras).
- Permite que solo un rayo de luz viaje a través de ella, lo que reduce la dispersión.
- Ideal para distancias largas (hasta 200 km) y aplicaciones de alto ancho de banda.

En contraste, la fibra multimodo (MMF, *Multimode Fiber*) es mejor para distancias cortas, como dentro de un edificio o de un conjunto pequeño de edificios. Su capacidad para conducir múltiples rayos de luz al mismo tiempo le permite transmitir datos a alta velocidad, aunque a distancias más cortas que las de la SMF. Sus principales características son las siguientes (info@CITEL, 2010):

- Tiene un núcleo más grueso que el monomodo (aproximadamente 50 micras).
- Permite que múltiples rayos de luz viajen por ella.
- Es perfecta para distancias cortas.

4.1.2 Tipos de fibra óptica según la terminación del cableado

Las fibras ópticas se clasifican también según la terminación del cableado que determina su configuración en los siguientes tipos (Albarrán, 2019):

FTTH (*fiber-to-the-home*): Es la más utilizada para conectar la central del operador con un hogar u oficina. A este tipo de fibra también se le conoce como fibra compartida y se considera que es la forma más directa, rápida, fiable y segura de conectarse a un proveedor de Internet. Alcanza velocidades de 300 Mbps a 1 Gbps.

FTTN (*fiber-to-the-node*): Conecta la central principal del operador con un nodo intermedio. Desde allí se enlaza con el punto donde se ha contratado el servicio, ya sea mediante cobre o cable coaxial.

FTTA (*fiber-to-the-antenna*): Lleva la fibra óptica hasta las antenas de telefonía móvil. Permite la conexión con un ancho de banda móvil adecuado para teléfonos inteligentes y tabletas.

FTTB (*fiber-to-the-building*): La conexión de fibra óptica llega hasta un edificio principal y, desde allí, se distribuye mediante cable de cobre o coaxial a cada vivienda o habitación, por ejemplo, en un hospital, un complejo de oficinas o una urbanización.

4.1.3 Terminal de línea óptica

Una terminal de línea óptica (OLT, *Optical Line Terminal*) es un equipo de telecomunicaciones que actúa como punto central en una red de fibra óptica, como las de tipo PON (Red Óptica Pasiva). Se ubica en las oficinas centrales de los proveedores de servicios de internet (ISP) y tiene como función gestionar y distribuir señales ópticas de alta velocidad a múltiples usuarios finales, convirtiendo señales eléctricas en ópticas y viceversa.

4.1.4 Red óptica pasiva

La red óptica pasiva (PON, *Passive Optical Network*) es una tecnología basada en fibra óptica que permite distribuir datos desde una única fuente a diversos puntos de conexión. El término “pasiva” se refiere a los divisores ópticos (splitters) que no requieren alimentación eléctrica para funcionar, ya que se limitan a dividir la señal óptica proveniente del proveedor de servicios entre varios usuarios finales. Sin embargo, de manera estricta, solo el divisor es un elemento pasivo, puesto que tanto el equipo transmisor en la central como los receptores en los extremos del enlace requieren energía eléctrica para operar correctamente (HPE Juniper Networking, 2025).

El *splitter* fibra óptica (que también se conoce como divisor de fibra o divisor de haz) es un dispositivo de distribución de energía óptica. Se considera una guía de onda con múltiples extremos de entrada y de salida. Su función es dividir un haz luminoso incidente en dos o más haces luminosos y, viceversa, combinarlos. Es un componente clave en las redes ópticas pasivas (EPON, GPON, BPON, FTTX, FTTH, etc.) pues permite que una sola interfaz PON sea compartida entre muchos abonados (silexfiber, 2024). Hay dos tipos principales de *splitter*:

Un *splitter* balanceado es un tipo de *splitter* de fibra óptica que distribuye la señal óptica de entrada en múltiples salidas de forma uniforme. Esto significa que cada salida recibe la misma potencia óptica. La uniformidad en la distribución de la señal es muy importante para aplicaciones en las que se requiere que todos los puntos finales reciban una señal de igual intensidad. Las ramificaciones más comunes en las que se divide un divisor son 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 y 1:64.

Por otro lado, los *splitters* desbalanceados (o asimétricos) son dispositivos en redes de fibra óptica que dividen una señal de luz en proporciones desiguales, en lugar de equitativas, como lo hacen los balanceados; por ejemplo, un *splitter* 90/10 envía el 90% de la potencia a una salida y el 10% a la otra, lo que permite priorizar o dirigir más potencia a ciertos puntos de la red para aplicaciones específicas, como redes PON. Se usan cuando algunas salidas necesitan mucha más potencia que otras, como en redes de acceso (FTTH), donde una línea principal transporta la mayor parte de la señal y las derivaciones secundarias reciben una porción menor. Los ejemplos más usuales son: 5/95, 10/90, 15/85, 20/80, 25/75, 30/70, 40/60, 45/55 y 50/50.

4.1.5 Conectores para fibra óptica

Un conector de fibra óptica es un dispositivo mecánico que une dos cables de fibra óptica o un cable con un equipo, permitiendo la transmisión eficiente de señales luminosas al alinear con precisión los núcleos de las fibras para minimizar la pérdida de luz. Permiten conexiones y desconexiones rápidas y son esenciales en telecomunicaciones, centros de datos y redes de área local (LAN) para establecer enlaces de datos. Los tipos de conectores

empleados en la infraestructura de red de fibra óptica se describen en los siguientes párrafos.

Conector SC: (*Standard Connector, Subscriber Connector*) es un conector cuadrado que se une a presión con un movimiento de empujar-tirar. Utiliza una virola de 2,5 mm de diámetro. Originalmente se usó en redes Gigabit Ethernet y posteriormente fue adoptado por la especificación TIA-568-A. Poco a poco fue ganando popularidad a medida que disminuían los costes de fabricación, principalmente gracias a su excelente rendimiento, y dominó el campo de la fibra óptica durante varias décadas. En las redes de fibra óptica actuales, se encuentran entre los dos tipos de conectores más comunes (PROMAX, 2019).

Conector SC/PC: Contacto Físico (Physical Contact). Se trata de una solución cada vez más en desuso. Posee un ferrule biselado y rematado en una superficie plana. Esto evita espacios vacíos entre los ferrules de los conectores que se acoplan y logra pérdidas de retorno entre -30 dB y -40 dB.

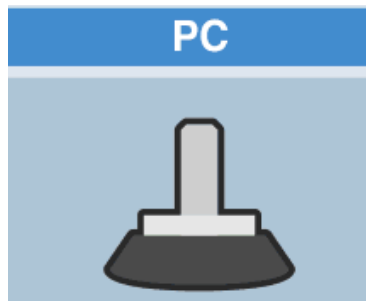


Figura 4.2 Conector SC/PC (PROMAX, 2019).

Conector SC/UPC: Ultra Contacto Físico (*Ultra Physical Contact*). Este tipo de conector es similar a los PC, pero reduce las pérdidas de retorno a un rango de -40 a -55 dB debido a su bisel más curvado. Actualmente se utiliza en líneas muertas, es decir, aquellas en las que los operadores de telecomunicaciones realizan pruebas de red, por ejemplo, con un OTDR.

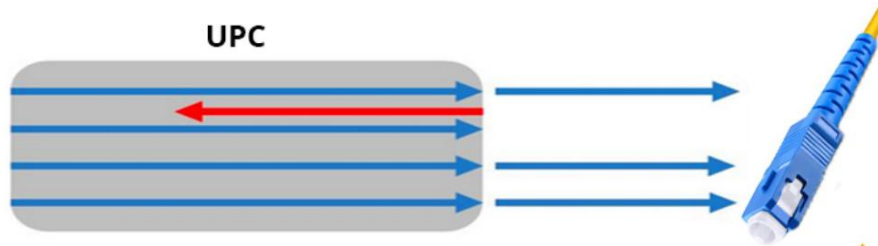


Figura 4.3 Conector SC/UPC (PROMAX, 2019).

Conector SC/APC: Debido a que es un contacto físico en ángulo (*Angled Physical Contact*), el ferrule termina en una superficie plana inclinada a 8 grados. Logra establecer un enlace óptico de mayor calidad al reducir las pérdidas de retorno hasta -60 dB, aumentando así el número de usuarios en fibras monomodo. Por este motivo, junto con sus costes de fabricación cada vez menores, APC se ha convertido en el tipo de pulido más utilizado.

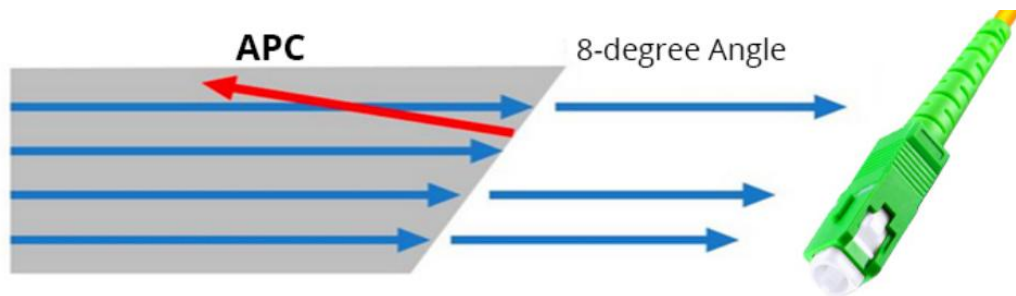


Figura 4.4. Conector SC/APC (PROMAX, 2019).

4.1.6 Fusión

Una fusionadora de fibra óptica es una máquina electromecánica de precisión utilizada para empalmar dos fibras ópticas. La fusión se realiza aplicando calor en el punto de unión, acoplándolas como si fueran una sola y evitando así la pérdida de señal durante la transmisión de datos.

Para lograr un buen resultado, es importante que tanto la fusionadora como la cortadora de fibra óptica sean de alta precisión. Para fusionar la fibra óptica, este equipo

acerca los extremos de las fibras entre sí y captura una imagen a través de sus dos lentes; luego, se mueven los carros de los *holders* para ajustar la posición de los ejes y alinearlos.

4.2 Medición de la potencia

En los sistemas de transmisión óptica, el decibel (dB) es una unidad logarítmica empleada para expresar relaciones de potencia, en particular para cuantificar las pérdidas o atenuaciones que sufre la señal luminosa a lo largo del medio de transmisión. Debido a la naturaleza de las señales ópticas y a los niveles de potencia implicados, el uso de una escala logarítmica permite representar variaciones amplias de forma simplificada y con mayor facilidad de interpretación (Keiser, 2011).

En una red de fibra óptica, el uso del dB resulta fundamental en las etapas de diseño, implementación y certificación del enlace, ya que permite evaluar la calidad del canal óptico y determinar si la potencia recibida se encuentra dentro de los márgenes operativos establecidos por el fabricante o por la normativa aplicable. La señal óptica puede experimentar pérdidas en diferentes puntos del enlace, principalmente debido a la presencia de conectores, empalmes, *splitters*, así como por la atenuación intrínseca del cable ocasionada por fenómenos físicos como la absorción y la dispersión

Por otra parte, en los sistemas de comunicaciones ópticas, el dBm (decibel-miliwatt) es una unidad empleada para expresar niveles absolutos de potencia óptica. A diferencia del decibel (dB), que representa una magnitud relativa, el dBm utiliza una referencia fija equivalente a 1 mW (miliwatt). Por lo tanto, el valor en dBm indica cuánta potencia óptica se emite o se recibe en un punto del enlace (Keiser, 2011).

La utilización de dBm es esencial en el ámbito de las redes ópticas, ya que los equipos transmisores y receptores operan dentro de rangos específicos de potencia. Los transmisores ópticos suelen especificarse en dBm para indicar su nivel de salida, mientras que los receptores definen un rango de sensibilidad, expresado en dBm, que determina los valores mínimos y máximos de potencia que pueden procesar para garantizar la correcta decodificación de los datos (Agrawal, 2012).

4.2.1 Atenuación

La atenuación se refiere a la reducción de la intensidad de la señal a medida que esta se propaga a lo largo de una fibra óptica. Este fenómeno se debe a factores como la absorción, la dispersión y las pérdidas por flexión. Esencialmente, la atenuación consiste en el debilitamiento de la señal óptica a lo largo de la distancia. La pérdida o la atenuación puede deberse a factores intrínsecos y extrínsecos (FIBCONET, 2024)

- Intrínsecos: Son todos los factores que se refieren al proceso de fabricación de la fibra, como pueden ser impurezas en el vidrio, parámetros geométricos (núcleos ovalados), los materiales con los que está construida la fibra pueden absorber o dispersar parte de la luz.
- Extrínsecos: Son los factores externos que se agregan a la fibra, como defectos de instalación, macro y micro curvaturas, acoplamiento de fibras erróneo, suciedad en conectores y empalmes, *splitters* y atenuadores, entre otros.

Todos estos factores atenúan la señal; de hecho, cada kilómetro de fibra ya de por sí presenta una pérdida que debe considerarse al elaborar un presupuesto de pérdida óptica.

4.2.2 Medidor de potencia

El medidor de potencia óptica es un instrumento fundamental para el análisis y la verificación de enlaces de fibra óptica. Su función consiste en cuantificar el nivel de potencia luminosa transmitida a través del núcleo de la fibra, expresado comúnmente en dBm. Esta medición permite evaluar el desempeño del enlace óptico, ya que proporciona información precisa sobre la atenuación y la calidad general de la señal recibida (Cabazos, 2026).

En el ámbito de la instalación y el mantenimiento de redes ópticas, el medidor de potencia es indispensable para confirmar la presencia de señal proveniente de la OLT o del equipo transmisor. Asimismo, permite determinar la cantidad de luz que llega al punto de medición y verificar si esta se encuentra dentro de los rangos operativos establecidos

por los estándares del sistema. Gracias a ello, es posible identificar pérdidas excesivas, anomalías en el tendido o defectos en los conectores y empalmes, asegurando así la integridad y el correcto funcionamiento de la red de fibra óptica. En la Figura 4.5 se muestra un ejemplo del medidor de potencia para fibra óptica.



Figura 4.5 Medidor de potencia para fibra óptica (Cabazos, 2026).

4.2.3 Reflectómetro

Un OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*), en español "Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo", es una herramienta de medición utilizada en la industria de las fibras ópticas para caracterizar y evaluar la calidad de las redes de fibra óptica. El OTDR emite pulsos de luz láser en la fibra y luego analiza el tiempo que tarda en regresar la luz reflejada, lo que le permite medir la pérdida de señal y localizar eventos de atenuación, como empalmes, conexiones y rupturas.

Un OTDR consta de una fuente de diodo láser, un detector de fotodiodos y un circuito temporizador de alta precisión. El láser emite un pulso de luz de longitud de onda determinada que se propaga a lo largo de la fibra sometida a pruebas. A medida que el pulso se desplaza por la fibra, parte de la luz transmitida se refleja hacia el fotodetector del OTDR. La intensidad de esta luz de retorno y el tiempo que tarda en volver al detector indican el valor de la pérdida (inserción y reflexión), el tipo y la ubicación de un evento

en el enlace. En la Figura 4.6 se muestra un ejemplo del OTDR (Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo).



Figura 4.6 Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo.

4.3 Comunicaciones por radioenlace

La comunicación por radioenlaces es un sistema inalámbrico que utiliza ondas electromagnéticas y permite transmitir datos, voz o video entre dos o más puntos fijos separados geográficamente. Actúa como un puente sin cables (enlaces Punto a Punto o Punto-Multipunto) para conectar redes y ofrecer internet en zonas rurales o enlazar sedes empresariales, operando en frecuencias específicas y sin depender de cableado físico. (Universidad de las Palmas, 2010).

4.3.1 Enlace punto a punto

Un enlace punto a punto es una conexión directa entre dos dispositivos o nodos de red. Una antena se encargará de enviar la información y la otra, de recibirla, para facilitar que llegue a los lugares a los que sea más difícil acceder por su ubicación geográfica o por los costes que ello implicaría. La comunicación se realiza sin intermediarios. En este tipo de conexión, los dispositivos se comunican directamente entre sí, sin pasar por un *router*, un *switch* u otro dispositivo intermedio.

En el caso de los enlaces *Wi-Fi* punto a punto, se utilizan antenas direccionales para establecer una conexión inalámbrica de alta velocidad y baja latencia entre dos dispositivos. Estos enlaces se emplean con frecuencia para conectar edificios, zonas rurales, entre otros. En general, los enlaces punto a punto son una solución efectiva para conectar dispositivos y redes en diferentes entornos, ya que ofrecen una comunicación directa y eficiente sin necesidad de dispositivos intermedios, lo que puede mejorar la velocidad y la fiabilidad de la conexión (Twintelecom Toledo, 2025).

4.3.2 Interferencia en Radioenlaces

La interferencia en comunicaciones se refiere a la alteración o degradación de una señal durante la transmisión, que puede deberse a señales electromagnéticas no deseadas de origen natural o artificial. Común en dispositivos inalámbricos, puede resultar en pérdidas de datos, reducción de la calidad de la señal o interrupciones completas de la comunicación. Mitigar la interferencia es crucial para garantizar una comunicación eficiente y estable, especialmente en entornos congestionados. (ENACOM, 2017)

Las fuentes más comunes son: otros radioenlaces cercanos, equipos eléctricos, motores, dispositivos Wi-Fi mal configurados, líneas de alta tensión o fenómenos atmosféricos.

4.3.3 Emisor y receptor de un radioenlace

El emisor es el dispositivo encargado de generar y enviar la señal. Su función principal es tomar la información que se desea enviar y convertirla en una señal de radiofrecuencia (onda electromagnética) capaz de viajar a través de la distancia. El proceso que realiza el emisor es registrar la información (ej. datos de internet), la modula sobre una frecuencia portadora y, a través de la antena transmisora, la envía al espacio. (Albornoz, 2000).

El receptor es el dispositivo situado en el extremo opuesto del enlace de radio, encargado de captar la señal electromagnética emitida por el emisor. La antena receptora

capta la onda electromagnética, y el receptor la demodula, filtra y procesa para recuperar la información original.

4.4 Inyector POE

Un inyector POE, soporta velocidades Gigabit al mismo tiempo que alimenta dispositivos compatibles mediante un solo cable (Cat5e/Cat6/Cat6a). El inyector añade energía (de la fuente de alimentación externa) a los datos provenientes de un switch no POE. Permite una mayor flexibilidad al ofrecer acceso a la instalación de dispositivos en zonas de difícil acceso, reduciendo al mínimo el impacto sobre las estructuras y sobre el presupuesto preexistente (FS.COM INC, 2006). Sus características son:

- **Tecnología Combinada:** Transmite energía y datos de alta velocidad en los mismos 8 hilos del cable Ethernet.
- **Velocidad Gigabit:** Admite velocidades de red de hasta 1000 Mbps (1 Gbps), ideal para dispositivos que requieren alto ancho de banda.
- **Estándares IEEE:** Suelen cumplir con los estándares IEEE 802.3af (15.4W) o 802.3at (PoE+ hasta 30W) para asegurar la compatibilidad y seguridad del dispositivo conectado.
- **Solución Práctica:** Elimina la necesidad de adaptadores de corriente externos y simplifica la instalación en techos o exteriores.
- **Límite de Distancia:** La distancia máxima de funcionamiento es de 100 metros.

4.4.1 Cable Ethernet

Un cable Ethernet es un tipo de cable de red utilizado para conectar dispositivos (ordenadores, routers, consolas) a una red local (LAN) o internet, permitiendo la transferencia de datos a alta velocidad y de forma estable. Utiliza conectores RJ45, transmite señales eléctricas y es más seguro y rápido que una conexión Wi-Fi. Existen

diferentes categorías (Cat 5, 5E, 6, 6A, 7, 7A) que determinan su velocidad y frecuencia de red (Telefónica S.A., 2026).

4.4.2 Normas para cableado estructurado

Las normas principales para el cableado estructurado de red son TIA/EIA-568A y 568B, que definen el orden de los pares trenzados en conectores RJ45. Para redes modernas, se utiliza mayoritariamente la norma T568B en ambos extremos. Se recomienda usar cables de categoría 5e, 6 o 6a para soportar velocidades de 1 Gbps o superiores (FS.COM INC, 2023).

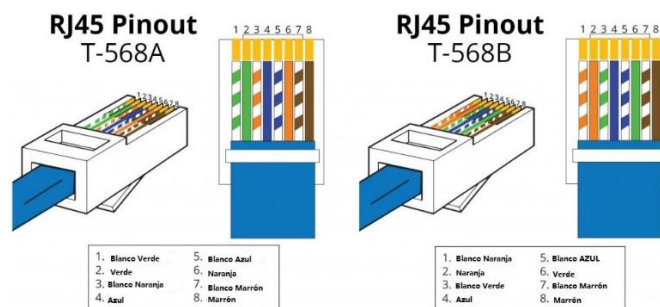


Figura 4.7 Normas de cableado estructurado (FS.COM INC, 2023).

4.4.3 Torre arriostrada

Una torre arriostrada, atirantada de vientos o por retenida, es una torre formada por tramos idénticos, hasta llegar a la cima, dichos tramos deben estar perfectamente ensamblados y sujetos por cable de retenida de acero para garantizar su estabilidad. El elemento más importante de esta torre es el tramo, ya que determinará su altura máxima y su capacidad de carga.

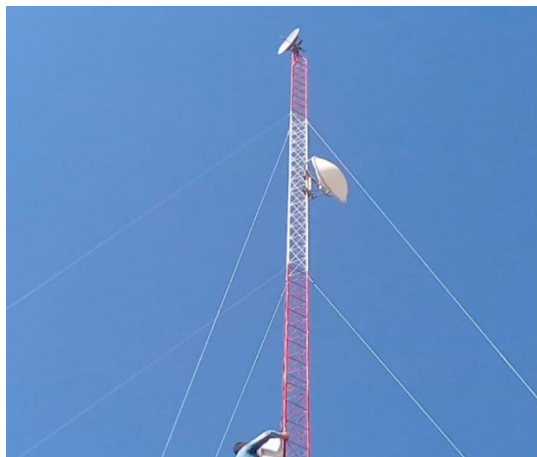


Figura 4.8 Ejemplo de torre arriostrada (elaboración propia).

4.5 Gestión y administración de redes

Una vez definidos la infraestructura física y los componentes de transmisión de la red, es fundamental considerar la capa lógica de gestión. En las telecomunicaciones modernas, el hardware por sí solo no garantiza la calidad del servicio; se requiere un sistema de control centralizado que permita administrar el tráfico, los usuarios y la facturación de manera eficiente y escalable. En este contexto, las plataformas de gestión en la nube para Proveedores de Servicios de Internet Inalámbricos (WISP, por sus siglas en inglés) desempeñan un papel crucial. Una de las herramientas más representativas y utilizadas en la industria es WispHub.

WispHub se define como un sistema de administración basado en la nube (SaaS, *Software as a Service*) diseñado específicamente para WISP e ISP, que elimina la necesidad de adquirir y mantener hardware de servidor local adicional. Su principal ventaja técnica radica en su capacidad para integrarse de forma transparente con los equipos de borde de la red (como los routers de la marca MikroTik) a través de su API (*Application Programming Interface*). Esta integración es tan eficiente que no requiere que el router principal (RB) cuente con una dirección IP pública asignada, lo cual simplifica la arquitectura de red, reduce costos y mejora la seguridad al mantener los equipos detrás de un NAT (WispHub S.A. de C.V., 2026).

Desde una perspectiva operativa y de ingeniería, esta plataforma centraliza funciones en tres ejes fundamentales para la viabilidad del proyecto:

1. **Ciclo de vida del suscriptor:** Permite administrar de forma automatizada las altas, bajas y reactivaciones de clientes. Incluye la capacidad de suspender de manera inmediata los servicios por falta de pago, estableciendo un enlace directo entre el estado técnico del servicio y los módulos de finanzas y soporte técnico de la empresa.
2. **Control de tráfico y calidad de servicio (QoS):** Facilita la aplicación de políticas de ancho de banda para garantizar que cada usuario reciba exactamente el plan contratado. Esto se logra mediante la configuración remota de mecanismos de control en el router, como *Simple Queues*, *PCQ* (Per Connection Queue), *Hotspot*, *PPPoE*, *DHCP Leases* y amarres de IP/MAC (*IP Bindings*).
3. **Automatización de procesos:** Realiza tareas repetitivas como la facturación automática y los cortes de servicio programados, lo que reduce la carga operativa y los errores humanos en la administración de la red.

La inclusión de esta herramienta en el fundamento teórico es esencial, ya que constituye el componente lógico que transforma una infraestructura pasiva de cables, splitters y radios en un servicio de telecomunicaciones comercial, profesional y escalable, tal como se requiere para un despliegue sostenible en la comunidad de El Salto.

5 MÉTODOS

Con base en los hallazgos del estado del arte y en la justificación técnica de la solución híbrida, a continuación, se presenta el plan general del proyecto. Este plan detalla la metodología de trabajo, las etapas de diseño e implementación, el cronograma de actividades y los recursos necesarios para llevar a cabo la intervención en la localidad de El Salto, Atlacomulco. El enfoque adoptado es proyectivo y aplicado, orientado a resolver un problema real de conectividad mediante soluciones técnicamente viables.

Para llevar a cabo este proyecto es necesario realizar un estudio de la zona en la que se va a desarrollar el diseño de la red, teniendo en cuenta desde la infraestructura con la que ya se cuenta hasta la ubicación de los postes para el cableado y la ubicación de las cajas NAP, así como las ventajas y desventajas que esto supondría para cada uno de los usuarios a los que se les prestará el servicio o para la propia empresa WINFORD.

5.1 Descripción conceptual de la red

Este proyecto busca aplicar principios y herramientas propios de la ingeniería de redes ópticas, así como metodologías de diseño e implementación de infraestructura de telecomunicaciones, con el fin de resolver un problema real que afecta al desarrollo social, educativo y económico de una comunidad rural. Se centra en la aplicación práctica de tecnologías de fibra óptica en contextos rurales con limitaciones geográficas, económicas y técnicas. En particular, se realizan el análisis de factibilidad, el diseño de topologías eficientes, la selección de equipos adecuados y la evaluación de la conectividad para los usuarios finales.

Implementar la red de fibra óptica en esta zona es un reto, ya que el terreno en el que se desarrolla el proyecto no presenta una topografía regular; cada uno de los espacios presenta relieves diferentes y, en no todos los casos, existe un espacio accesible para colocar el cableado. En este contexto, se propone una red híbrida en la que el segmento primario se implementa mediante fibra óptica.

La fibra óptica se considera actualmente la mejor solución para garantizar conectividad de alta velocidad, estable y escalable, puesto que sus principales ventajas son:

- Alta capacidad de transmisión de datos, ideal para múltiples usuarios simultáneos.
- Baja latencia, adecuada para videollamadas, educación a distancia y aplicaciones en tiempo real.
- Durabilidad y resistencia a las interferencias electromagnéticas.
- Escalabilidad, lo que permite extender fácilmente el servicio conforme crece la demanda.

En términos de costo-beneficio a largo plazo, la inversión en fibra óptica es más rentable que otras tecnologías, ya que requiere menos mantenimiento y ofrece un mejor rendimiento.

El proyecto consiste en el diseño e implementación de una red híbrida de telecomunicaciones. Esta solución contempla el uso de un enlace inalámbrico punto a punto, mediante equipos Mimosa C5c, con el objetivo de transportar el servicio de internet a una comunidad de difícil acceso, donde la instalación directa de fibra óptica a través de infraestructura de postes resulta inviable. A partir del punto de recepción, la distribución del servicio se realizará mediante una red de fibra óptica, lo que garantiza una mayor calidad en su entrega. El enlace se establecerá desde la comunidad de Santiaguito Maxda hacia la comunidad de El Salto, lo que permitirá ofrecer un servicio de internet más estable, eficiente y con mejores prestaciones para los usuarios finales.

5.2 Requerimientos de la etapa de radioenlaces

En este apartado se presentan los equipos y sus respectivos requerimientos técnicos para el desarrollo del proyecto, que consiste en la implementación de un enlace punto a punto y la distribución del servicio mediante fibra óptica. Se describen las características principales de cada dispositivo, su función en la red y los criterios técnicos que justifican

su selección, con el objetivo de garantizar un diseño eficiente, estable y acorde con las necesidades del sistema propuesto.

5.2.1 Mimosa C5c

El C5c se ha diseñado específicamente para gestionar enlaces de retorno de largo alcance (PtP), punto a multipunto (PTMP). Gracias a su diseño con conectores, el C5c es compatible con numerosas antenas populares y ofrece un rendimiento TCP de hasta 500 Mbps (PTMP) y 700 Mbps (PtP) (Mimosa, 2025).



Figura 5.1 Radio Mimosa C5c (Elaboración propia).

Las principales características técnicas del equipo Mimosa C5c, que lo distinguen de otros competidores en el mercado, son las siguientes:

- Port Gigabit Ethernet 10/100/1000 Mbps
- Conectores SMA-hembra inverso para antenas externas
- Rendimiento máximo PTP/PTMP: 700 Mbps
- Clasificación IP67 para uso externo
- Rango de frecuencia: 4.9 a 6.4 GHz

5.2.2 Antena direccional

La antena direccional RocketDish airMAX es ideal para enlaces punto a punto (PtP), con enlaces a una frecuencia de 5 GHz (4.9 - 5.8 GHz) de 30 dBi. En la Figura 5.2 se muestra la antena direccional. Se requieren dos antenas de este tipo para realizar el enlace PtP. Las características técnicas de la antena son:

- Rango de frecuencia: 4.9 - 5.8 GHz.
- Polarización: Dual.
- Ganancia: 30 dBi.
- Dimensiones: 650 x 650 x 304 mm.
- Peso: 9.8 kg.



Figura 5.2 Antena direccional dish 30dBi (Syscom, 2025).

5.2.3 Tramo de torre arriostrada

Este producto se elabora conforme a la norma ISO 9001:2015. Cada uno de los tramos es fabricado por maquinaria de control numérico e incluye tornillería para su instalación. Es recomendado principalmente para zonas secas (35 % humedad promedio o menos) y libres de agentes corrosivos como salitre u otros químicos que aceleren el proceso de oxidación. En la Figura 5.3 se muestra el tipo de torre utilizada para la realización del enlace PtP. Sus características físicas son:

- Carga Máxima: 200 Kg.
- Altura Máxima: 30 m. (10 tramos).
- Resistencia al Viento: 200 Km/hr.
- Material: Tubo industrial 7/8" (Cal.18).
- Semiflecha (Zig-zag): Redondo 5/16".
- Niple: 10 cm.
- Ancho de cara: 30 cm.
- Peso: 12.5 Kg.
- Dimensiones: 3 m de Longitud.
- Material de estructura: Acero (A-36).
- Galvanizado electrolítico según norma ASTM-B-633.



Figura 5.3 Tramo de Torre Arriostrada de 3 m x 30 cm (elaboración propia).

5.2.4 Cable de retenida

El cable de retenida (también conocido como retenida, guía o tirante) es un cable de acero galvanizado utilizado para proporcionar soporte y estabilidad mecánica a postes, torres o estructuras verticales, especialmente en instalaciones de redes eléctricas o de telecomunicaciones. En la Figura 5.4 se muestra el cable de retenida que se usa para darle estabilidad a la torre. Sus características son (Syscom, 2025):

- Cuenta con 7 hilos trenzados.
- Diámetro nominal: 1/8".
- Carga a ruptura: 600 Kg.
- Peso aproximado: 0,048 Kg/m.
- Galvanizado para alta resistencia a la corrosión (Clase A).



Figura 5.4 Cable de retenida de 7 hilos trenzados (Syscom, 2025).

5.2.5 Perro de retenida

El llamado “perro” (también conocido como grapa de cable) es una pieza metálica en forma de “U” con dos pernos y una placa, utilizada para sujetar firmemente los extremos del cable de acero. En la Figura 5.5 se muestra el perro de retenida que se usa en la instalación de la torre; considerando el mismo tamaño de grapa para el mismo tamaño de cable de acero. Sus características se detallan enseguida:

- Fabricado de acero forjado.
- Recubrimiento galvanizado por inmersión en caliente.
- Torque máximo recomendado: 6 N.m
- Recomendado para retenida de 1/8" (SRET318CAM o SRET18DA)
- Uso recomendado por amarre: 3 piezas
- Ideal para carga pesada
- Recomendado para la suspensión o fijación de torres atirantadas, mástiles, postes y otros similares.



Figura 5.5 Perro/ Abrazadera Acero Forjado para Cable de 1/8" (Syscom, 2025).

5.3 Componentes de la red pasiva

Una vez definida la arquitectura general y validado el enlace troncal inalámbrico, el siguiente paso es materializar la red de distribución local. Esta sección detalla los componentes técnicos, tanto activos como pasivos, que integran la Red de Distribución Óptica (ODN, por sus siglas en inglés) del proyecto.

La selección de estos elementos se ha realizado con base en criterios de compatibilidad con los estándares internacionales GPON, resistencia a las condiciones ambientales de la zona rural de El Salto y una buena relación costo-beneficio. A continuación, se describen las especificaciones técnicas y la función específica de cada dispositivo, desde el equipo central de cabecera (OLT) y los equipos de terminación en el usuario (ONT) hasta la infraestructura física de cableado, empalmes, divisores ópticos (splitters) y accesorios de fijación (cajas NAP, herrajes y hebillas) que garantizan la integridad, durabilidad y escalabilidad del despliegue FTTH.

5.3.1 OLT V-SOL

El V1600GS-ZF es un OLT GPON de tipo caja con un único puerto PON. Su precio es atractivo y su rendimiento es excepcional. La relación de división de su puerto PON es de 1:128 y su alcance máximo es de 20 km. Su ancho de banda de enlace ascendente y descendente alcanza 1,25 Gbps y 2,5 Gbps, respectivamente. El V1600GS-ZF es ideal para aplicaciones como FTTH, pequeñas oficinas y otros entornos (SOL, 2025). Entre sus características principales se encuentran las siguientes:

- Dimensiones: 224 * 199 * 43.6 mm (largo × ancho × alto).
- Aplicaciones: Datos, Videovigilancia, Telefonía IP.
- Configuración y gestión de la ONU en línea.
- Ancho de banda por puerto PON: Upstream 1.244Gbps, Downstream 2.488Gbps.
- Gestión amigable desde: EMS / Web / Telnet / CLI / SSH.
- Promedio de potencia de salida del puerto GPON C++:
- +7dBm a +9 dBm

Características de red:

- Hasta 128 ONUs.
- 2 puertos Uplink RJ45 Gigabit.
- 1 puertos Uplink SFP/SFP+ 10 Gigabit.
- Distancia 20 Km en cada puerto PON.
- Funciones Capa 3 básica y Capa 2.
- 1 puerto de Consola (Línea de comando)
- 1 puertos GPON SC/UPC.
- Relación de splitteo por puerto PON: 1:128.



Figura 5.6 OLT V SOL de un puerto PON (SOL, 2025).

5.3.2 Fusionadora Ai-30 Linkedpro

La empalmadora de fibra óptica AI-30 utiliza un procesamiento de imágenes rápido y un avanzado proceso de centrado del núcleo, lo que permite la empalmadura

automática con excelentes parámetros en menos de 10 segundos (Syscom, 2025). Sus características esenciales son las siguientes:

- Dimensiones: 225 * 165 * 185 mm (largo × ancho × alto).
- 6 Motores.
- Tiempo por empalme: 6 segundos.
- Alineación por núcleo
- Hasta 240 empalme por cada ciclo de carga
- 15 segundos para calentar la manga de empalme.

Características físicas y eléctricas:

- Incluye una fuente de alimentación.
- CA: 100~240V, 50/60Hz
- Peso: 5.50 Kg.
- Temperatura de operación: -15 a 50° C.
- Pantalla de 5 pulgadas
- Función de VFL integrada (Longitud de ondas: 850nm, 1300nm, 1310nm, 1490nm, 1550nm, y 1625nm)
- Función de OPM integrada (15mW)
- 10 idiomas disponibles, entre ellos español e inglés



Figura 5.7 Fusionadora Ai-30 Linkedpro (Syscom, 2025).

5.3.3 ONT Huawei

La ONT Huawei EG8021V5 es un router en la solución de acceso totalmente óptico. Utiliza la tecnología GPON para ofrecer acceso a banda ultraancho a los usuarios. El alto rendimiento de reenvío garantiza la experiencia del usuario en los servicios de datos y ofrece a los clientes una solución ideal de acceso totalmente óptico y una capacidad de soporte de servicio orientada al futuro. Sus características técnicas son las siguientes (Syscom, 2025):

- WiFi 5 (doble banda)
- Mayor cobertura (menos visitas a sitio)
- No se reinicia por calentamiento
- 2 antenas de 5 dBi
- Hasta 867 Mbps en WiFi
- Dimensiones (H x W x D): 30 x 155 x 105 mm
- Consumo standby: 4.6 W
- Consumo máximo: 11.6 W
- Peso: 196g

- Temperatura de operación: 0°C a 40°C
- Adaptador de corriente: 100-240 Vac 50/60 Hz
- Entrada del equipo: 12Vdc, 1.5A
- Entrada óptica: SC/APC clase B+
- Velocidad máxima: 300 Mbit/s (2.4GHz) y 867 Mbit/s (5GHz)
- 2 puertos LAN Gigabit Ethernet



Figura 5.8 La ONT Huawei EG8021V5 (Syscom, 2025)

5.3.4 Fibra óptica de 4 hilos

La Fibra Óptica Drop Plano GJYXCH Fibralink de 1 km con 4 fibras monomodo G657A1, es ideal para redes FTTH y aplicaciones de telecomunicaciones de alta velocidad. Este cable de fibra óptica, diseñado para instalaciones rápidas y eficientes, garantiza una transmisión de datos de alta calidad con la mínima pérdida de señal. Su estructura plana asegura durabilidad y facilidad de manejo en proyectos de conectividad a gran escala. En la Figura 5.9 se muestra una imagen en la que se aprecian los componentes de este tipo de fibra óptica de cuatro hilos.

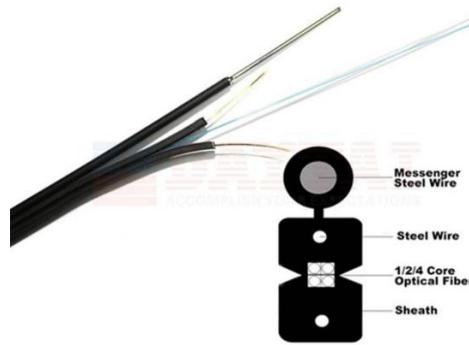


Figura 5.9 Componentes de la fibra óptica plana (Syscom, 2025).

Este tipo de cable está compuesto por un hilo de acero, conocido como mensajero, que proporciona soporte mecánico durante el tendido aéreo. Además, incluye dos hilos de acero adicionales que aumentan la resistencia estructural del cable. En el núcleo se alojan las cuatro fibras ópticas, responsables de transmitir datos mediante señales de luz. Sus características principales son:

- Fibra Monomodo G.652D.
- Alta Resistencia Mecánica.
- Protección Superior.
- Bajo Peso y Diseño Compacto.
- Alta Resistencia a Tensión y Aplastamiento.
- Fibra de Alta Calidad.
- Flexible en Instalación.

5.3.5 Cajas NAP de 8 puertos

La caja de empalme NAP LP-FAT083 se utiliza como punto de terminación para conectar el cable troncal o de distribución de fibra con el cable drop en una red FTTx. Generalmente se utilizan para albergar splitters de segundo nivel y cuentan con acopladores para un acceso rápido y sencillo; proporcionan una protección y gestión sólidas para la construcción de la red FTTx. Las especificaciones técnicas principales de este equipo son las siguientes:

- Tamaño compacto: 227 x 181 x 54.5 mm.
- Splitter 1x8 con conectores SC/APC incluidos.
- 8 acopladores SC/APC simplex monomodo.
- Protección IP65 para uso en exterior.
- Material ABS+PC para resistencia duradera.
- 3 entradas para cable Ø 6-12mm.
- Instalación en poste, pared o aérea.



Figura 5.10 Caja NAP con Splitter 1x8 SC/APC (Syscom, 2025).

5.3.6 Remate tipo grapa para cable drop plano

El remate tipo grapa es un dispositivo metálico diseñado para anclar y asegurar el cable drop plano (por ejemplo, el cable tipo forma de 8) al final de un tramo aéreo, justo donde la línea llega a una vivienda, a un poste o a una caja de distribución. En la Figura 5.11 se muestra una imagen representativa del dispositivo utilizado para la instalación de la red de fibra óptica, cuyas especificaciones son:

- Material de acero inoxidable para máxima durabilidad.
- Tensión máxima soportada hasta 600N.
- Dureza mínima de HB 165 para resistencia.
- Extensión mínima del 60% para flexibilidad.
- Instalación sin herramientas, diseño compacto.
- Aplicación: Se utiliza retener, anclar o tensar el cable plano.



Figura 5.11 Remate tipo grapa para cable drop Plano (Syscom, 2025).

5.3.7 Hebillas de acero inoxidable 201

Las hebillas de acero inoxidable 201 son elementos de sujeción utilizados en instalaciones de telecomunicaciones para fijar accesorios, cajas de distribución, retenidas o componentes de red sobre postes metálicos o de concreto. Dentro de sus características principales se encuentra:

- Material de acero inoxidable 201 resistente
- Ancho de 16 mm para durabilidad
- Diseño elegante y moderno
- Alta resistencia a la corrosión
- Fácil de limpiar y mantener



Figura 5.12 Hebillas de acero inoxidable 201 (Syscom, 2025).

5.3.8 Herraje tipo "D" pequeño con chaveta

El Herraje LP-SDC2 tipo 'D' pequeño está diseñado para soportar y sujetar cables aéreos de fibra óptica. Estos son resistentes a condiciones ambientales adversas debido a que está hecho de acero galvanizado que proporciona protección contra la corrosión y los rayos UV. Sus características:

- Tensión Máxima: 20kN
- Peso: 0.18kg
- Material: Acero galvanizado en caliente
- Vida útil: ≥ 20 años
- Garantía: 1 año
- Span máximo: 200 metros



Figura 5.13 Herraje tipo "D" pequeño con chaveta (Syscom, 2025).

5.3.9 Flejadora manual

Es una herramienta utilizada para tensar, ajustar y asegurar flejes (cintas metálicas o plásticas) alrededor de objetos o estructuras, con el fin de fijar o sujetar elementos de manera firme. Características:

- Cuerpo de acero resistente para mayor durabilidad.
- Compatible con fleje de 3/4" y 5/8".
- Diseño ergonómico para un fácil manejo en postes.
- Sistema de tensado manual sin herramientas adicionales.

- Corte preciso con palanca integrada de seguridad.
- Fácil adaptación a fibra óptica aérea ADSS.



Figura 5.14 Flejadora manual (Syscom, 2025).

5.3.10 Splitters desbalanceados

Los splitters ópticos desbalanceados permiten distribuir la potencia óptica de manera no uniforme entre sus salidas, lo cual resulta útil en aplicaciones en las que se requiere priorizar un enlace sobre otro.

En la Tabla 5.1 se presentan los valores típicos de pérdida de inserción para cada puerto (P1 y P2), donde se observa que, a medida que aumenta el porcentaje de potencia en un puerto, la pérdida en dicho puerto disminuye, mientras que en el puerto secundario aumenta considerablemente. Estos valores son fundamentales para el cálculo del presupuesto de potencia en redes de fibra óptica, especialmente en topologías FTTH y enlaces de distribución.

Tabla 5.1 Tipos de splitters desbalanceados.

Elemento	Configuración	P1 (dB)	P2 (dB)
Splitter Desbalanceado	1/99	20.50	0.16
Splitter Desbalanceado	10/90	10.50	0.55
Splitter Desbalanceado	20/80	7.30	1.04
Splitter Desbalanceado	30/70	5.30	1.20
Splitter Desbalanceado	40/60	4.30	2.40
Splitter Desbalanceado	50/50	3.70	3.70

5.4 Diseño e implementación

El presente apartado describe el proceso de diseño e implementación del proyecto, cuyo objetivo principal es establecer una red de comunicaciones mediante un enlace punto a punto y la distribución de fibra óptica, para garantizar un servicio estable, eficiente y de alta capacidad. El desarrollo de este diseño se fundamenta en los requerimientos previamente definidos en el análisis de necesidades, asegurando que la solución implementada cumpla con los estándares actuales de telecomunicaciones y responda a las condiciones del entorno. Asimismo, se presentan las etapas de montaje, configuración y pruebas realizadas para validar el correcto funcionamiento de la red, a fin de asegurar la calidad y la confiabilidad del sistema.

5.4.1 Diseño del enlace punto a punto

Lo primero que se realizó fue el diseño del enlace punto a punto, para lo cual se utilizó la plataforma oficial de *Cloud Mimosa*. En esta página, además de simular el enlace, también se pueden activar los equipos que se utilizarán para el enlace punto a punto.

Para acceder a la página oficial de Mimosa, se requieren un correo electrónico y una contraseña. En la Figura 5.15 se muestra la página de inicio de sesión de Mimosa. Si no se tiene un correo y una contraseña registrada para esta página se puede crear una seleccionando la opción de registro.

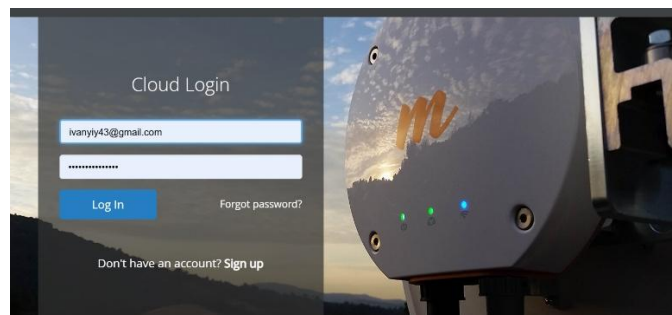


Figura 5.15 Inicio de sesión en Cloud Mimosa (elaboración propia).

En la Figura 5.16 se muestra que, una vez iniciada la sesión, se despliega la pantalla de inicio de Mimosa, donde aparecen tres apartados: diseño de red, desbloquear dispositivo y gestión de red. Para esta parte del proyecto, se selecciona el apartado de diseño de red, en el que se diseña el enlace punto a punto.

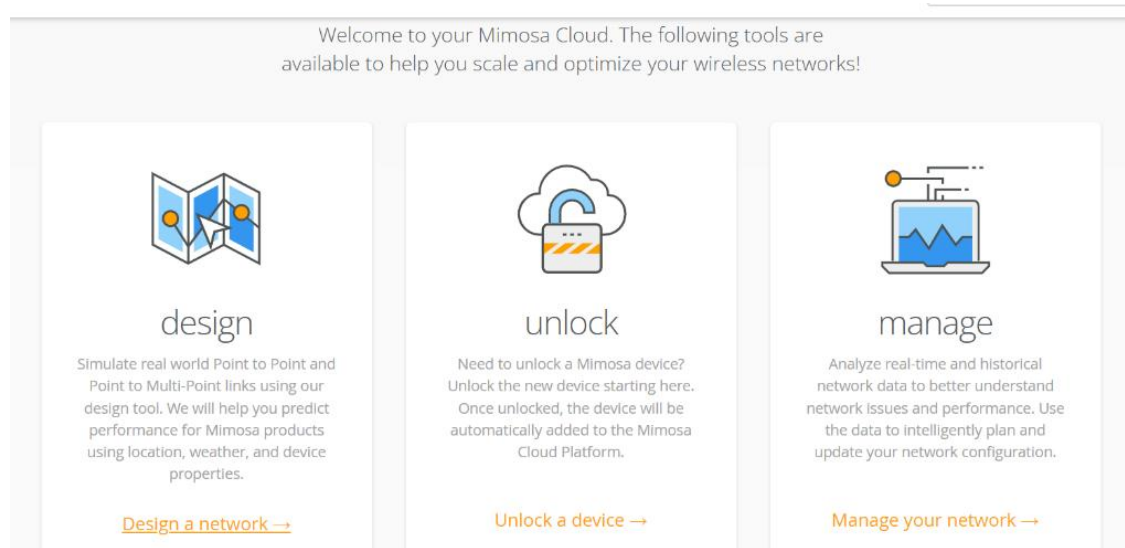


Figura 5.16 Página de inicio de Mimosa para el diseño de red (elaboración propia).

Al ingresar al apartado de diseño, se muestra el mapa de la zona en la que se está trabajando. En la Figura 5.17 se muestra el grupo creado, identificado como “El salto”. Después de crear el grupo, se selecciona y se agrega un nuevo enlace punto a punto como se muestra en la Figura 5.18.

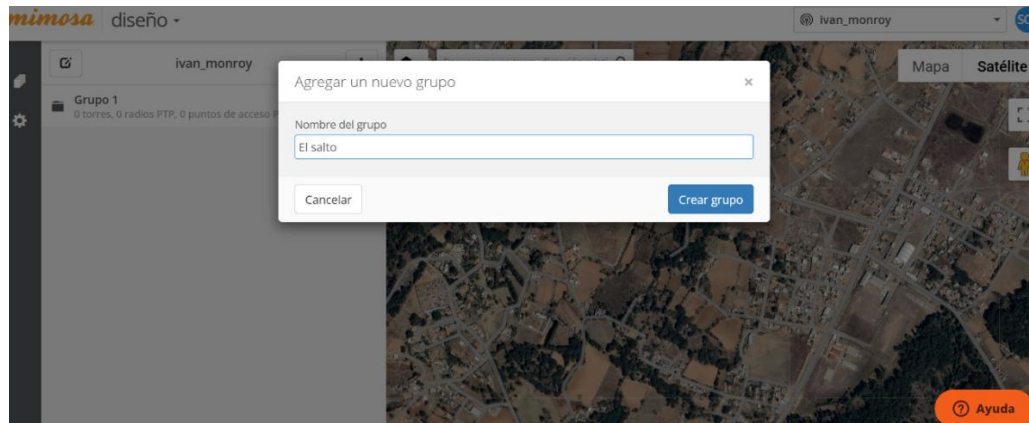


Figura 5.17 Creación del grupo para el proyecto El Salto (elaboración propia).

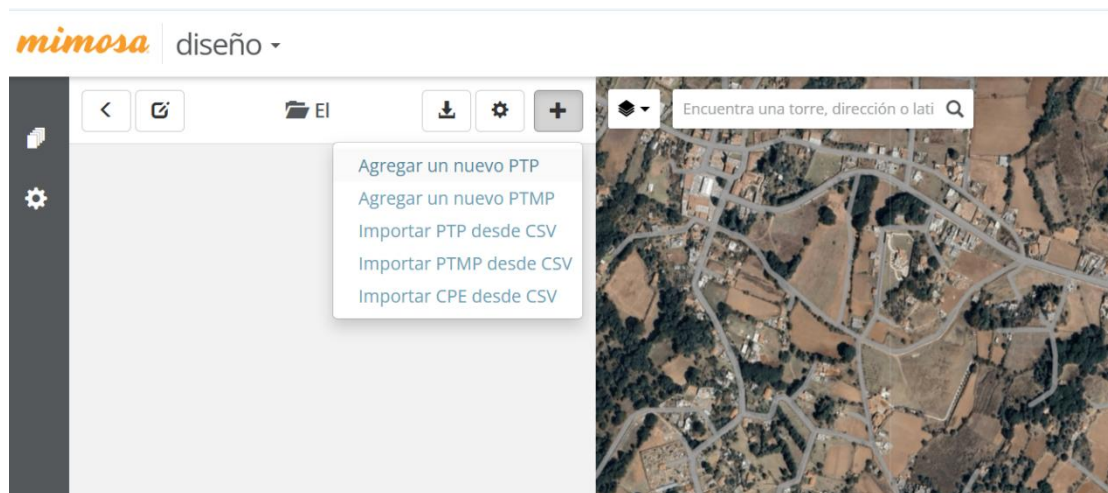


Figura 5.18 Creación del nuevo enlace PtP (elaboración propia).

Una vez creado el nuevo enlace punto a punto, se edita el enlace ingresando las ubicaciones de los puntos en los que se ubica el enlace, tomando en cuenta que el punto A es el sitio de la empresa Winfored y el punto B es la ubicación donde estará la torre de El Salto que recibirá el internet. En la Figura 5.19 se muestra cómo se ingresan las coordenadas de cada punto; una vez ingresadas, se solicita ingresar la altura de la base en cada punto.

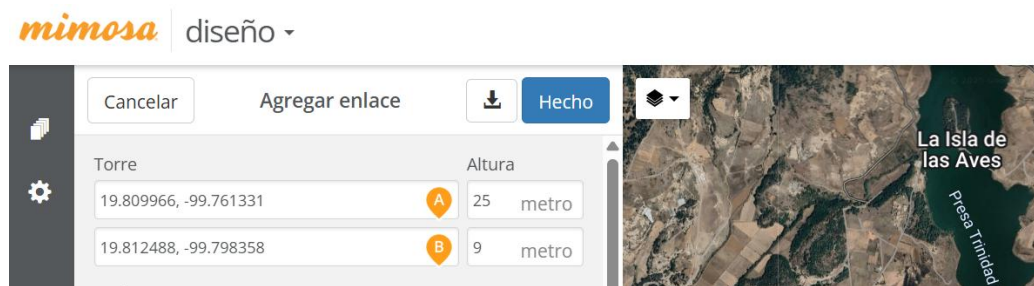


Figura 5.19 Ingreso de las coordenadas de los puntos A y B (elaboración propia).

Una vez ingresadas las coordenadas y la altura de cada base, el programa permite editar las características del enlace, como el tipo de radio que se utilizará, el tamaño o tipo de antena y el ancho de banda en el que queremos que opere.

En la Figura 5.20 se visualizan los equipos y las características con las que se realizará el enlace PtP. Se muestra el tipo de radio, el cual es una Mimosa C5c; el ancho de canal es de 1x80 MHz y el tipo de antena es de 30 dBi.

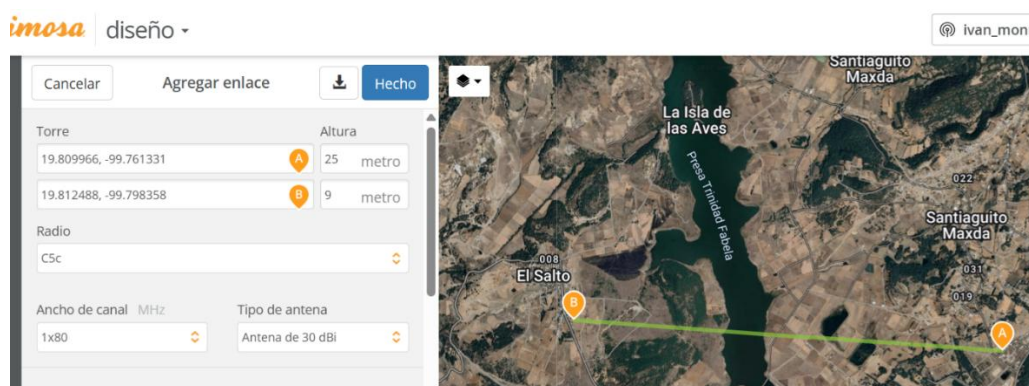


Figura 5.20 Equipos y sus características para el enlace PtP (elaboración propia).

Después de configurar las características principales de los equipos, el sistema despliega otra opción llamada configuración de enlace, donde se puede configurar con mayor precisión lo que se utiliza en campo, esta información puede variar según el enlace.

En la Figura 5.21 presenta el presupuesto del enlace (Link Budget) obtenido mediante la herramienta de simulación. Se observa una pérdida por espacio libre de 119.05

dB, una potencia recibida de -39.43 dBm y una relación señal-ruido (SNR) de 23.03 dB, valores que permiten garantizar un enlace estable. Asimismo, se consideró una pérdida por interferencia de 25 dB, valor que se encuentra dentro del margen recomendado para el diseño de radioenlaces digitales, donde comúnmente se emplean márgenes de protección entre 20 y 30 dB para asegurar una adecuada relación portadora/interferencia (C/I) y minimizar la degradación del servicio ocasionada por fuentes externas de interferencia. De igual forma, el margen por lluvia de 0.35 dB resulta aceptable debido a la corta distancia del enlace y a la frecuencia de operación de 5.5 GHz, por lo que los parámetros obtenidos cumplen con criterios técnicos de diseño para enlaces inalámbricos punto a punto. (Union internacional de telecomunicaciones, 2021).

The image shows a software interface for calculating a link budget. It is divided into three main sections: 'Configuración de canales' (Channel Configuration), 'Configuración de radio' (Radio Configuration), and 'Link Budget'.

Configuración de canales:

- Ancho de canal (MHz): 1x80
- Frecuencia central 1 (MHz): 5500
- Potencia de Tx 1 (dBm): 22
- Frecuencia central 2 (MHz): 5500
- Potencia de Tx 2 (dBm): 22

Configuración de radio:

- Ganancia de antena A (dBi): 30
- Ganancia de antena B (dBi): 30
- Pérdida de cable (dB): 1
- Figura de ruido (dB): 4.5
- Pérdida de interferencia (dB): 25
- Polarización: Ambos
- SNR del objetivo (dB): 25
- Pérdida por desajuste (dB): 0
- Amortiguador a nivel de suelo (m): 0

Link Budget:

Component	Value
Total Power	+ 22.00 dBm
Mismatch/Cable Loss	- 1 dB
Antenna Gain	+ 30 dBi
System Loss	0 dB
Free Space Path Loss	- 119.05 dB
Interference Loss	25.00 dB
Rain Fade	- 0.35 dB
Atmospheric Attenuation	- 0.02 dB
Antenna Gain	+ 30 dBi
Mismatch/Cable Loss	- 1 dB
Receiver Signal Strength	-39.43 dBm
Noise Floor	-87.46 dBm
SNR	23.03 dB
EIRP Total	50.00 dBm

Figura 5.21 Configuración de frecuencia y pérdidas por interferencia (elaboración propia).

Al agregar la configuración del enlace, como la frecuencia, las pérdidas por cable y las pérdidas por interferencia, se identifica otra pestaña llamada detalles del tiempo, que muestra valores como la temperatura, la presión, la humedad, etc. Como se muestra en la Figura 5.22, los valores se agregan automáticamente según la ubicación en la que se está llevando a cabo el proyecto.

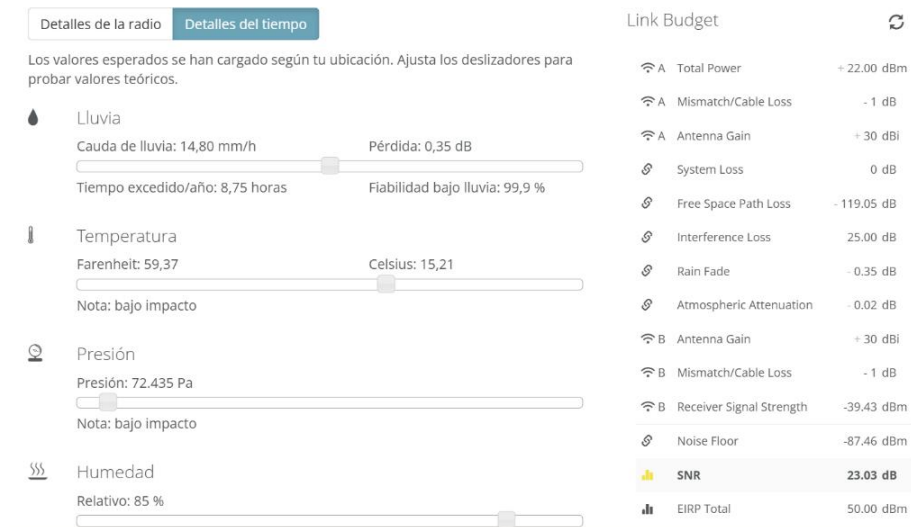


Figura 5.22 Detalles del clima que pueden influir en el desempeño del enlace (elaboración propia).

En la Figura 5.23 se muestra que, una vez identificados los dos puntos finales del enlace y seleccionados la altura de la antena y el tipo de radio, a continuación, se presentan datos de resumen adicionales. Estos incluyen la línea de ubicación proyectada, las obstrucciones de Fresnel, la relación señal-ruido (SNR), la distancia de enlace, el rendimiento potencial de tasa PHY para los productos Mimosa y el rendimiento agregado de IP. Se muestran resultados tanto en condiciones soleadas como en condiciones lluviosas.

RESUMEN DEL ENLACE			
LÍNEA DE VISIÓN	SÍ	FRESNEL OBSTR	0 %
FIABILIDAD BAJO LA LLUVIA	99.9 %	DISTANCIA DEL ENLACE	3.89 km
SNR	☁ 23.03 Db	SNR	☀ 23.39 Db
PHY	☁ 650 Mbps	PHY	☀ 650 Mbps
AGGR IP	☁ 520 Mbps	AGGR IP	☀ 520 Mbps

Figura 5.23 Resumen y datos adicionales del enlace PtP (elaboración propia).

A continuación, se interpreta cada uno de los indicadores clave de rendimiento (KPIs) arrojados por la herramienta de simulación, los cuales validan la viabilidad técnica del diseño propuesto:

1. **Línea de visión (LoS - *Line of Sight*):** **SÍ.** Confirma la existencia de una trayectoria de propagación directa y despejada entre los nodos, sin obstrucciones físicas significativas (como edificaciones o relieve topográfico) que bloqueen el haz principal de la antena.
2. **Obstrucción de la Zona de Fresnel:** **0 %.** Indica que el primer elipsoide de Fresnel se encuentra completamente libre de obstáculos. Un valor del 0 % garantiza la ausencia de difracciones o atenuaciones adicionales por objetos en la trayectoria, condición óptima para maximizar la eficiencia del enlace.
3. **Fiabilidad bajo lluvia (*Rain Fade Margin*):** **99.9 %.** Representa la disponibilidad estimada del enlace bajo condiciones meteorológicas adversas. Un valor del 99.9 % (equivalente a un tiempo de inactividad teórico de aproximadamente 8.76 horas al año) demuestra una alta resiliencia del sistema frente a la atenuación por precipitación.

4. **Distancia del enlace: 3.89 km.** Corresponde a la distancia euclidiana entre los puntos de instalación. Este alcance, considerado de medio rango, se compensa adecuadamente con la alta ganancia de las antenas seleccionadas (30 dBi), asegurando un margen de desvanecimiento (*fade margin*) suficiente.
5. **Relación Señal-Ruido (SNR): 23.39 dB (normal) / 23.03 dB (lluvia).** El SNR mide la diferencia entre la potencia de la señal útil y el piso de ruido. Los valores obtenidos se ubican dentro del rango de operación óptimo (20–25 dB), lo que garantiza una Tasa de Error de Bit (BER) mínima y permite al radio mantener esquemas de modulación de alto orden de manera estable, incluso bajo lluvia.
6. **Tasa de datos física (PHY Rate): 650 Mbps.** Representa la velocidad máxima teórica de modulación en la capa física del modelo OSI. Un valor de 650 Mbps indica que el sistema opera con una modulación robusta (ej. 256-QAM o superior), reflejando una excelente calidad de la señal recibida y una alineación precisa de las antenas.
7. **Capacidad agregada IP (*Aggregate IP Throughput*): 520 Mbps.** Corresponde a la tasa de transferencia útil real a nivel de capa de red, una vez descontadas las sobrecargas de protocolo (*overhead*). Un rendimiento de 520 Mbps (aproximadamente el 80 % de la tasa PHY) valida la eficiencia del enlace y confirma que existe ancho de banda troncal más que suficiente para soportar la demanda proyectada de la comunidad.

Por último, se muestra la carta de elevación o el análisis de trayectoria. En la Figura 5.24 se muestran los siguientes datos: Nombre del Sitio, Ubicación, Elevación, Altura respecto al suelo, Inclinación y Rumbo.

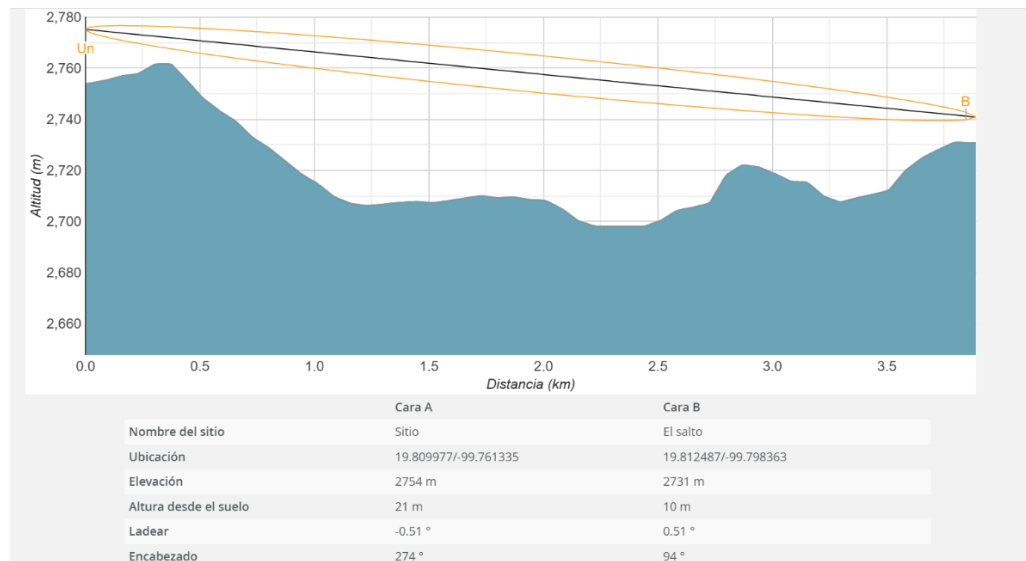


Figura 5.24 Análisis de la trayectoria del enlace PtP (elaboración propia).

El diseño del enlace punto a punto mediante la plataforma Cloud Mimosa permitió establecer un proceso estructurado, preciso y confiable para la planificación del proyecto de comunicación inalámbrica. A través de esta herramienta fue posible definir con precisión la ubicación geográfica de los sitios involucrados, ingresar las coordenadas correspondientes y determinar las alturas óptimas para la instalación de los equipos, asegurando así una línea de visión adecuada entre ambos puntos.

La simulación realizada facilitó la selección del tipo de radio, de la antena y del ancho de canal adecuados para garantizar un rendimiento óptimo del enlace. Asimismo, la configuración detallada de parámetros como la frecuencia de operación, las pérdidas por cable e interferencias permitió obtener una representación más realista del comportamiento del sistema en condiciones reales de trabajo. Los resultados obtenidos, incluyendo un despeje del 100 % de la zona de Fresnel, una fiabilidad del 99.9 % bajo condiciones de lluvia y una distancia efectiva de 3.89 km, confirman que el diseño propuesto es técnicamente viable y garantiza estabilidad y eficiencia en la transmisión.

5.4.2 Diseño de la red de fibra óptica

Al concluir la simulación del enlace inalámbrico, se pudo comprobar que este cumple con las características necesarias para proporcionar el servicio de internet a la comunidad de El Salto.

Como siguiente etapa del proyecto, se procedió al diseño de la red de fibra óptica, para lo cual se utilizó la plataforma Google Earth. Esta herramienta permitió realizar el levantamiento preliminar de la infraestructura requerida, facilitando la visualización y análisis de las rutas por donde se desplegará la red principal y sus respectivas derivaciones. Asimismo, el software permitió identificar con precisión los puntos estratégicos para la instalación de las cajas NAP y de los demás elementos asociados al despliegue de la red.

Para realizar el levantamiento de la red de fibra óptica, lo primero que se requiere es ir a donde será el proyecto y realizar un levantamiento de información. Realizar el mapeo de postes es muy importante porque ahí es donde se hará el tendido de fibra óptica. Para realizar esta etapa se requiere un GPS para poder seleccionar la ubicación exacta del poste y el número de poste que corresponde; para este proyecto se utiliza la aplicación de Google Maps.

La información obtenida se guarda en una tabla en la que se va organizando toda la información correspondiente. En la Figura 5.25 se muestra un ejemplo del procedimiento para compartir la ubicación de los postes correspondientes al paso de la fibra óptica. Una vez recolectada toda la información de los postes, se guarda en una tabla en la que se organiza el número de poste con su ubicación correspondiente. Toda la información se representa mediante la Tabla 5.2.

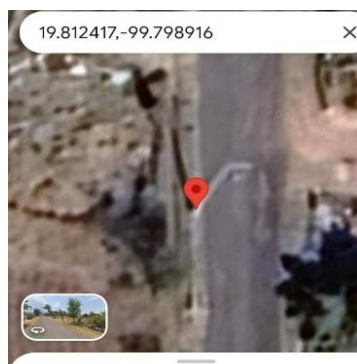


Figura 5.25 Ubicación en Google Maps, del poste (elaboración propia.)

Tabla 5.2 Número de poste y coordenadas de la comunidad del salto

No. De Poste	Coordenadas
P1	19°48'44.7"N 99°47'56.1"W
P2	19°48'46.5"N 99°47'56.8"W
P3	19°48'47.0"N 99°47'57.1"W
P4	19°48'48.1"N 99°47'57.0"W
P5	19°48'49.6"N 99°47'57.1"W
P6	19°48'51.4"N 99°47'57.2"W
P7	19°48'53.3"N 99°47'57.4"W
P8	19°48'56.1"N 99°47'57.2"W
P9	19°48'57.5"N 99°47'57.3"W
P10	19°48'57.7"N 99°47'55.8"W
P11	19°48'59.1"N 99°47'57.4"W
P12	19°49'01.0"N 99°47'57.5"W
P13	19°48'57.3"N 99°47'58.3"W
P14	19°48'59.2"N 99°47'58.4"W
P15	19°48'56.2"N 99°47'58.2"W
P16	19°48'57.3"N 99°47'59.4"W
P17	19°48'57.3"N 99°48'00.4"W
P18	19°48'59.0"N 99°48'00.6"W

P19	19°48'58.9"N 99°48'02.7"W
P20	19°48'57.2"N 99°48'01.4"W
P21	19°48'57.2"N 99°48'02.4"W
P22	19°48'57.1"N 99°48'03.4"W
P23	19°48'56.0"N 99°48'00.3"W
P24	19°48'58.5"N 99°48'06.3"W
P25	19°48'59.0"N 99°48'07.7"W
P26	19°48'59.8"N 99°48'09.8"W
P27	19°49'01.0"N 99°48'07.2"W
P28	19°49'02.3"N 99°48'07.0"W
P29	19°48'51.9"N 99°47'58.5"W
P30	19°48'53.5"N 99°47'59.6"W
P31	19°48'51.9"N 99°48'00.1"W
P32	19°48'51.9"N 99°48'02.2"W
P33	19°48'45.4"N 99°47'57.6"W

Después de tener toda la información de la ubicación de los postes por donde estará pasando la fibra óptica, el siguiente paso es identificar las ubicaciones de las cajas NAP las cuales se colocarán estratégicamente en toda la comunidad. En la Tabla 5.3 se muestran el número de caja NAP, número de puertos y la ubicación.

Tabla 5.3. Número de caja, número de puertos y ubicación de instalación.

No. Caja Nap	No. De Puertos	Coordenadas
N1	8 puertos	19°48'44.7"N 99°47'56.1"W
N2	8 puertos	19°48'47.0"N 99°47'57.1"W
N3	8 puertos	19°48'49.6"N 99°47'57.1"W
N4	8 puertos	19°48'56.1"N 99°47'57.2"W
N5	8 puertos	19°48'57.7"N 99°47'55.8"W
N6	8 puertos	19°48'59.1"N 99°47'57.4"W

N7	8 puertos	19°48'57.4"N 99°47'58.3"W
N8	8 puertos	19°48'57.2"N 99°48'00.4"W
N9	8 puertos	19°48'59.0"N 99°48'00.5"W
N10	8 puertos	19°48'58.9"N 99°48'02.2"W
N11	8 puertos	19°48'59.0"N 99°48'07.6"W

Después de tener toda la información de los postes y las cajas NAP se crea un proyecto en Google Earth en el cual se sube toda la información recolectada y ayuda a tener una mejor visión del proyecto y cómo se va a realizar. En la Figura 5.26 se muestra la creación de la carpeta del proyecto, que en este caso, se denomina “El salto”.



Figura 5.26 Creación de proyecto en Google Earth (elaboración propia).

Después de crear el proyecto, el siguiente paso es seleccionar la opción de polígono para delimitar el área donde se trabajará y obtener una visión más precisa de toda el área que se pretende cubrir. En la Figura 5.27 se muestra cómo queda delimitada toda la zona en la que se llevará a cabo el proyecto.



Figura 5.27 Delimitación de la zona del proyecto (elaboración propia).

Una vez delimitada la zona geográfica en la que se trabaja, el siguiente paso es ingresar las coordenadas de los postes a través de los cuales pasa la fibra óptica. En la Figura 5.28 se muestra cómo se agrega el número de poste con su etiqueta y su coordenada correspondiente.

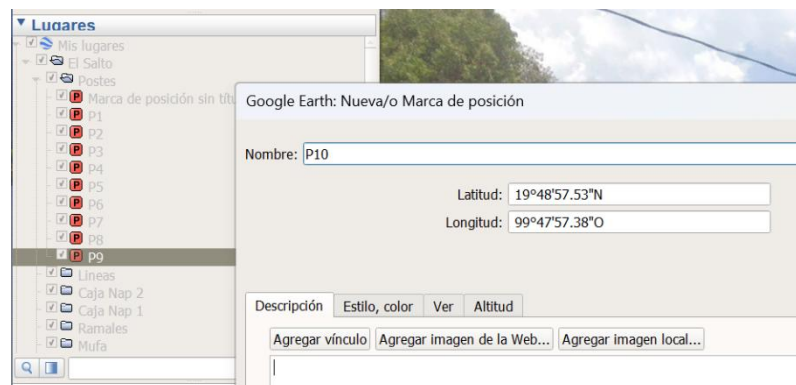


Figura 5.28 Ingreso de coordenadas y número de poste (elaboración propia.)

Una vez concluido el ingreso de la información de todos los postes en la zona delimitada, se visualiza en el mapa cómo quedaron colocadas todas las etiquetas, como se muestra en la Figura 5.29.



Figura 5.29 Visualización de los postes agregados en Google Earth (elaboración propia).

Al tener localizados los postes en el mapa, se procede a ingresar las cajas Nap y sus coordenadas, teniendo en cuenta que ya se localizaron los puntos con el mayor número posible de usuarios. En la Figura 5.30 se muestra cómo se ingresan los datos de las cajas NAP como lo son las coordenadas, el número de puertos y la etiqueta para identificarlas en el mapa.



Figura 5.30 Información de las cajas NAP (elaboración propia).

Después de agregar las ubicaciones de las cajas NAP, se agrega la fibra óptica; en este proyecto se adiciona una troncal para identificar nuestra red de fibra óptica principal,

que será de 4 hilos y estará identificada en azul. En la Figura 5.31 se muestra el recorrido de la red principal de fibra óptica.

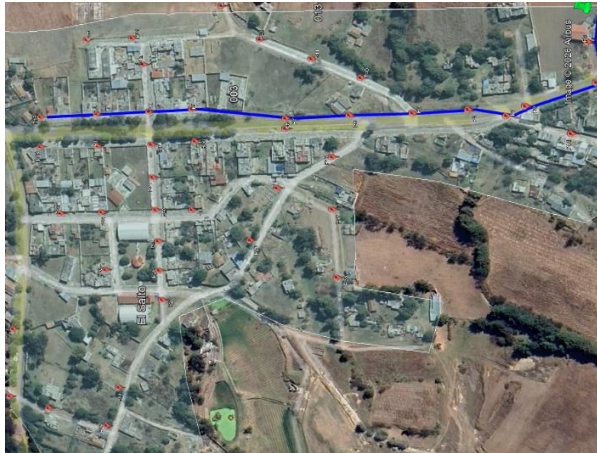


Figura 5.31 Red principal de fibra óptica de 4 hilos (elaboración propia).

Una vez identificada la red principal el siguiente paso es hacer las derivaciones, para su visualización en el proyecto estará identificadas con una traza color verde. Para el proyecto se identificaron dos derivaciones que se realizarán con fibra de 1 hilo. En la Figura 5.32 se muestra por dónde pasarán las derivaciones.



Figura 5.32 Derivaciones con fibra óptica de 1 hilo (elaboración propia).

Después de identificar todos los aspectos que conforman la red de fibra óptica, por ejemplo, los postes, las cajas NAP, la red principal y las derivaciones de fibra óptica, se visualizan en un mismo mapa, como se muestra en la Figura 5.33.



Figura 5.33 Visualización de todos los elementos de la red de fibra óptica (elaboración propia).

Una vez completado el ingreso de toda la información en el mapa de Google Earth, se genera un archivo KMZ. Dentro del proceso de diseño e implementación de redes de fibra óptica, el archivo KMZ constituye una herramienta fundamental para la representación georreferenciada del proyecto. Este formato, compatible con plataformas como Google Earth, permite visualizar las rutas de los enlaces en mapas satelitales y en terrenos reales, lo que facilita el análisis técnico y operativo del despliegue.

El archivo KMZ permite representar el trazado de la red y visualizar con precisión la ubicación de los tramos troncales, la distribución, las cajas terminales, los puntos de empalme, los postes, la ubicación de equipos activos y pasivos (como OLT, NAP u ONT), así como los puntos de derivación. Esta visualización aporta una base cartográfica que mejora la comprensión espacial del proyecto.

6 RESULTADOS

En este apartado se exponen los resultados prácticos y las evidencias técnicas derivadas de la implementación de la red híbrida propuesta. El contenido se organiza en tres ejes principales: primero, la configuración y puesta en marcha del enlace troncal inalámbrico; segundo, el tendido aéreo y la fusión de la red de distribución de fibra óptica; y tercero, la validación del desempeño del sistema.

Mediante registros fotográficos, capturas de pantalla de la configuración y, fundamentalmente, mediciones de potencia óptica en cada nodo de distribución, se demuestra la viabilidad técnica de la solución y su capacidad para ofrecer a la comunidad un servicio de conectividad estable y de alta velocidad.

Para configurar los equipos Mimosa, se requiere activar los dispositivos con la cuenta de Mimosa en la página <https://mimosa.co/start>. Al iniciar sesión en la página se introduce el número de serie del dispositivo para activarlo. Una vez introducido el número de serie, la página muestra una página de desbloqueo o de activación. En la Figura 6.1 se muestra la información generada para activar el dispositivo.

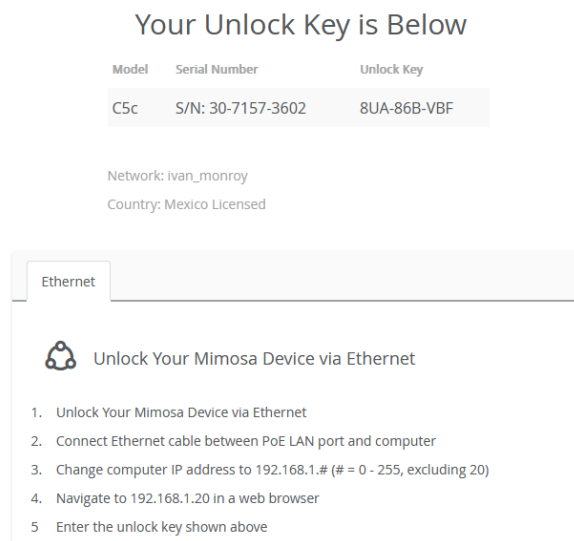


Figura 6.1 Generación del código de activación para el Mimosa C5c (elaboración propia).

Se conecta directamente la radio Mimosa a la PC y se asigna una dirección IP del segmento 192.168.1.xxx. Después, en el explorador se identifica la dirección por defecto 192.168.1.20. Se ingresa a la dirección mimosa.co/firmware para descargar la versión del firmware más reciente, se inicia sesión en la cuenta de Mimosa y se selecciona el modelo que le corresponda a la radio, como se muestra en la Figura 6.2 (en este caso, el modelo de radio es el C5c).



Siempre primero el lado mas alejado del enlace. Para acceder a versiones anteriores de firmware, visite nuestro soporte de chat en línea, y uno de nuestros ingenieros de soporte puede ayudarle con esta solicitud.

C5c PTP Firmware de producción [Notas de la versión](#)

Versión	Fecha	Firmware Descargar	Descripción
2.14.0	30 de mayo de 2024 09:09 PM (UTC)	Mimosa-C5c-2.14.0.img.signed	2.14.0
2.12.0	Nov 14 2022 07:56 PM (UTC)	Mimosa-C5c-2.12.0.img.signed	Última versión de GA para uso con C5c en el modo PTP

Figura 6.2 Descarga de firmware más reciente para radio C5c (elaboración propia).

Al ingresar la dirección por defecto en el navegador, se redirige al equipo al cual debe cargarse el firmware actualizado, y esperar a que se reinicie el dispositivo. Después de reiniciar el dispositivo, se selecciona el bloqueo manual y se ingresa el código generado al inicio para desbloquearlo, como se muestra en la Figura 6.3.

Una vez ingresado el código de activación o desbloqueo, se solicitará una contraseña para acceder al equipo. Se crea la contraseña, se inicia sesión en el dispositivo y ya es posible configurar la radio Mimosa. Este proceso se realiza de la misma manera en el otro radio que se utilizará para el enlace PtP.

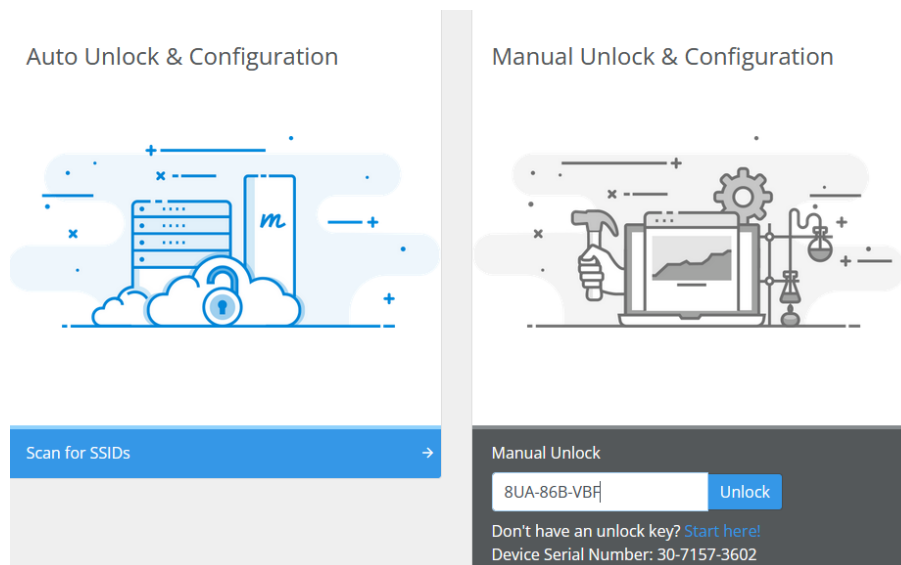


Figura 6.3 Código de desbloqueo de la radio Mimosa C5c (elaboración propia).

6.1.1 Configuración de equipo Mimosa C5c (BASE)

Después del desbloqueo y la activación de los equipos, el siguiente paso es configurarlos. En la Figura 6.4 se observa que, en el apartado general, es posible cambiar el nombre del equipo para identificarlo; en este proyecto se llamará site-to-El-salto.

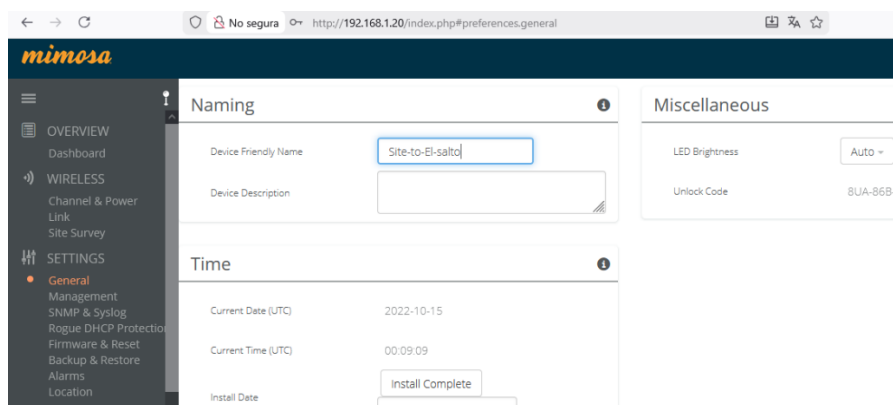


Figura 6.4 Cambio del nombre del radio C5c Base (elaboración propia).

En el apartado de *management* se configura la IP, que depende del proveedor de Internet (distribuidor). Para el proyecto se utiliza la IP como se muestra en la Figura 6.5.

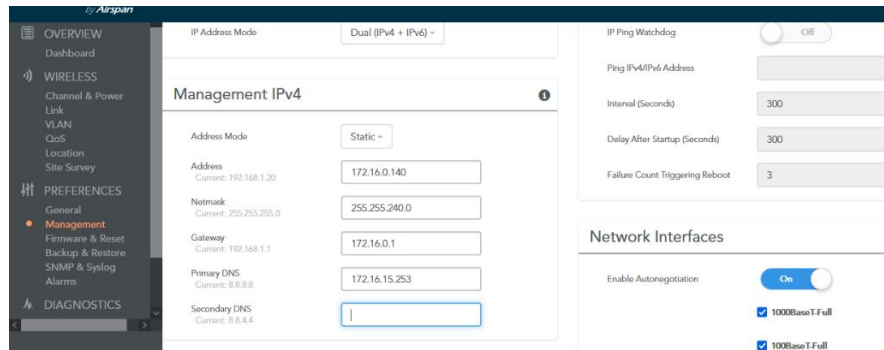


Figura 6.5 Configuración de IP en el radio base (elaboración propia).

Luego de configurar la IP, el siguiente paso es configurar el nombre del SSID y la contraseña con la que se conectará el enlace. Además, se configura el modo en que el equipo va a trabajar. Para el proyecto se utilizará en modo PtP y como Access Point, que proporciona el servicio de Internet en la zona de El Salto. El nombre del SSID y la contraseña varían según el distribuidor de Internet; no hay una contraseña específica. En la Figura 6.6 se muestra la configuración ya asignada que se utiliza en este proyecto

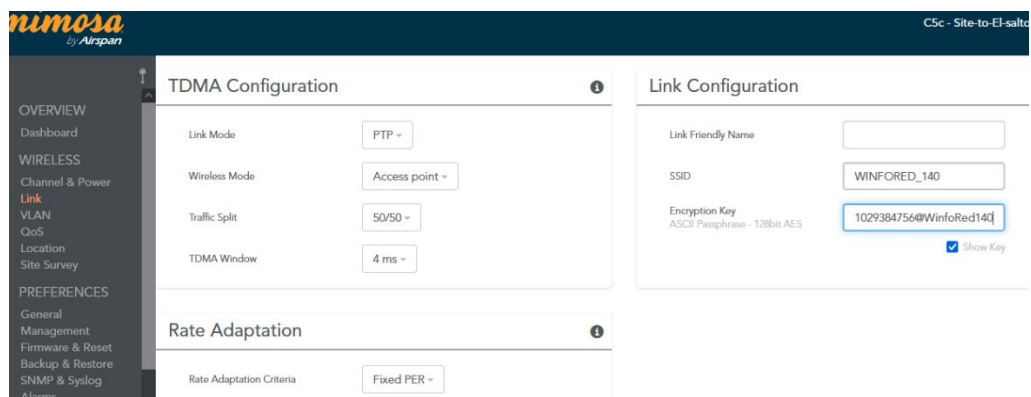


Figura 6.6 Configuración del modo de trabajo (elaboración propia.)

Una vez configurado todo lo involucrado en IP y el modo de trabajo, el último paso es configurar la frecuencia y el canal; para esta configuración se ponen provisionalmente, porque al momento de conectar los equipos se puede ir moviendo para buscar la mejor frecuencia para tener una mejor conexión.

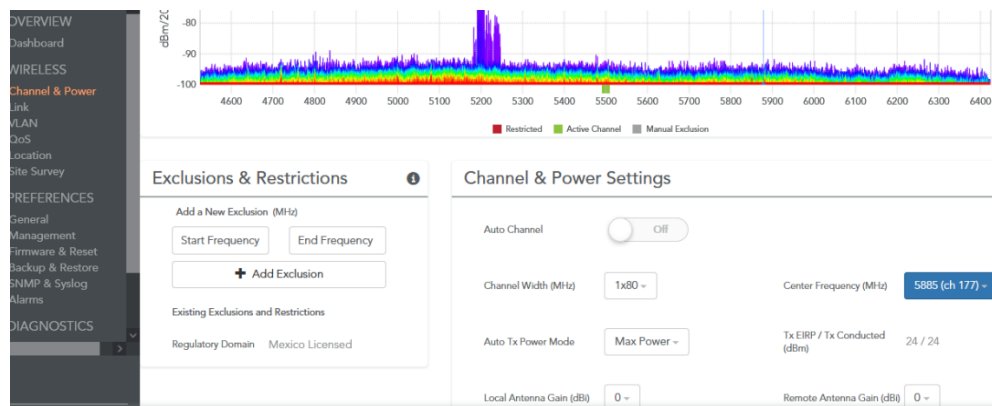


Figura 6.7 Configuración de frecuencia y canal de transmisión (elaboración propia).

6.1.2 Configuración del equipo Mimosa C5c (REMOTO)

En la configuración del equipo remoto, que este en este caso es el que va a estar en la comunidad de El Salto, en la Figura 6.8 se muestra el cómo se le cambia el nombre al dispositivo

Figura 6.8 Configuración del nombre del equipo remoto (elaboración propia).

Una vez configurado el nombre del remoto, se configura la IP de este mismo equipo, como se ilustra en la Figura 6.9.



Figura 6.9 Configuración de IP del equipo remoto (elaboración propia).

En el apartado del enlace podemos configurar el nombre del SSID y la contraseña de la red a la que nos conectaremos. El modo de trabajo en este equipo es en PtP y Station.

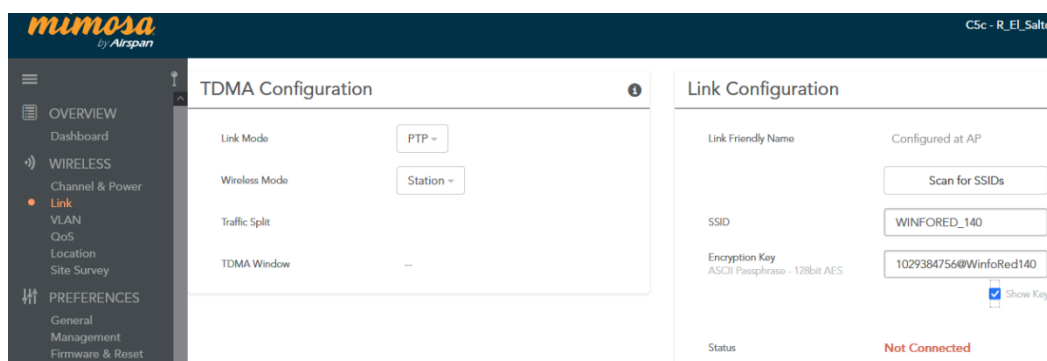


Figura 6.10 Configuración del modo de trabajo del radio remoto (elaboración propia).

Para la instalación del equipo BASE que va a mandar a la comunidad El Salto no se ocupó la instalación de una torre nueva, dado que en esta ubicación se encuentra el site de la empresa Winfored, la cual ya cuenta con una torre instalada de aproximadamente 35 m de altura.



Figura 6.11 Instalación del plato Dish base (elaboración propia).

Una vez instalado el plato Dish de 30 dBi se procede a colocar la radio Mimosa C5c (base), una vez colocado se procede a realizar el cableado para la alimentación de este mismo como se muestra en la Figura 6.12.



Figura 6.12 Instalación y cableado de la radio Mimosa (elaboración propia).

El Internet se distribuye desde un equipo MikroTik, el cual previamente ya se configuró para que por el puerto diez se proporcione el servicio de Internet que va a ser llevado a la comunidad de El Salto, tal como se muestra en la Figura 6.13. El equipo se conectó mediante una fuente Poe Gigabit para transmitir hasta 900 Mbps.

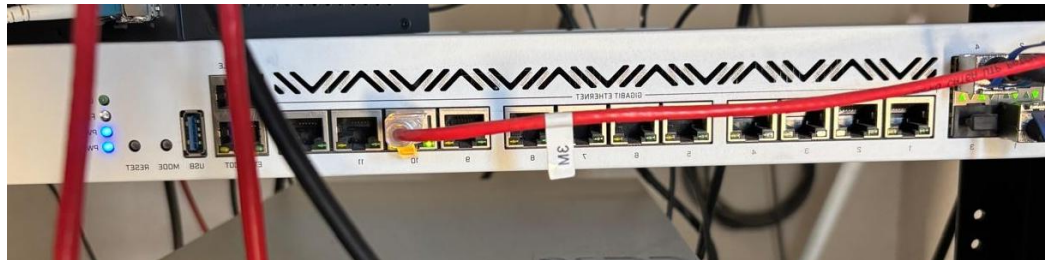


Figura 6.13 Puerto que proporcionará el internet para EL Salto (elaboración propia).

En la comunidad de El Salto se instaló una torre de aproximadamente 9 metros, como se muestra en la Figura 6.14; se procedió al levantamiento de la torre y a la instalación del plato Dish.



Figura 6.14 Levantamiento de torre e instalación del plato Dish (elaboración propia).

Después de instalar la torre y el plato dish, se realizó la colocación de la radio Mimosa C5c y, una vez instalada, se realizó el cableado de esta, como se muestra en la Figura 6.15.



Figura 6.15 Instalación y cableado de la radio Mimosa C5c “Station” (elaboración propia).

Después de realizar la instalación de los dos radios Mimosa C5c, procedemos a hacer la conexión del enlace Punto a Punto. Para realizar la conexión, debemos estar ubicados en la comunidad de El Salto, donde se encuentra el equipo remoto. Una vez conectado el enlace, se busca la frecuencia y el canal sobre los cuales se va a trabajar. Al realizar las pruebas correspondientes, se concluyó que la mejor frecuencia de transmisión es 6050 MHz y el canal óptimo de transmisión es de 80 MHz. Como se muestra en la Figura 6.16, se puede ver que el TX y RX están en estado óptimo. Lo cual indica que la capacidad máxima (teórica) del enlace puede alcanzar los 600 Mbps.

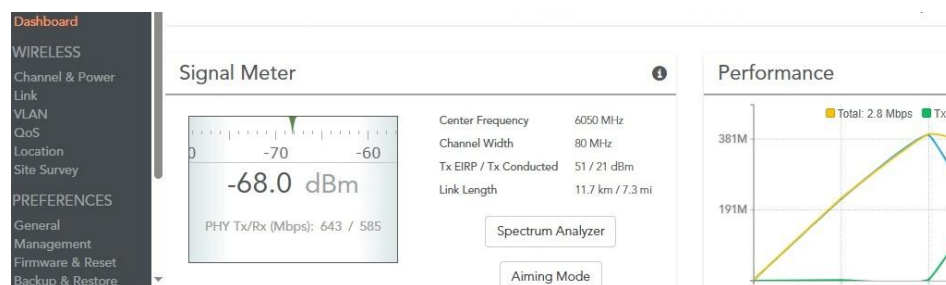


Figura 6.16 Configuración del enlace para una mejor transmisión de datos (elaboración propia).

Una vez establecida la conexión correcta, se realiza una prueba de velocidad, como se muestra en la Figura 6.17, que indica una recepción de aproximadamente 590 Mbps.



Figura 6.17 Prueba de velocidad del enlace (elaboración propia).

La prueba de velocidad realizada muestra que la velocidad final del enlace cumple con los parámetros requeridos para el proyecto y que los clientes tienen un internet confiable y de alta velocidad. Una vez realizado el enlace, el servicio llegará directamente a la OLT VSOL, que se encargará de convertir la señal de RJ45 a fibra óptica.

6.1.3 Tendido de la red de fibra óptica

El presente apartado describe el inicio del tendido de la red de fibra óptica en la comunidad de El Salto, correspondiente a la implementación de una red tipo FTTH. Se abordan las actividades iniciales en campo, así como los procedimientos técnicos empleados para el despliegue de la infraestructura, lo que garantiza el cumplimiento de los estándares de calidad y el buen desempeño del sistema.

Una vez ubicados los postes por los que pasa la red troncal de fibra óptica y sus derivaciones, el siguiente paso es tenderla. En la Figura 6.18 se muestra la fibra óptica drop monomodo de 4 hilos G.657A2 (con forma de figura de 8), con mensajero, que se utilizó para la línea troncal; se utilizan solo dos hilos, dejando los otros dos como reserva para futuros proyectos.



Figura 6.18 Fibra óptica drop 4 hilos figura 8 con mensajero (elaboración propia).

El proceso de instalación comenzó con el tendido de la fibra óptica en la calle principal, seleccionada estratégicamente como la ruta para el despliegue de la red troncal, debido a su ubicación y a la facilidad de acceso a los diferentes puntos de distribución. La red troncal del proyecto tiene una longitud aproximada de 600 metros y constituye el eje principal para la distribución del servicio de internet. Esta infraestructura permite interconectar los distintos puntos de la red, garantizando una cobertura adecuada y facilitando el acceso.

En la Figura 6.19 se observa el proceso de tendido de la red troncal de fibra óptica mediante infraestructura aérea. El despliegue se realiza sobre la infraestructura de postes existente, mientras el personal técnico ejecuta trabajos en altura para asegurar la correcta sujeción del cable mediante los herrajes correspondientes. Este procedimiento garantiza una instalación ordenada, manteniendo la tensión adecuada del cable y evitando posibles daños, lo cual es fundamental para asegurar la calidad y la continuidad del servicio en la red troncal.



Figura 6.19 Tendido de la red troncal de fibra óptica (elaboración propia).

Dado que en el diseño de la red se definió previamente la ubicación de las cajas NAP en cada poste, durante el tendido de la fibra óptica se deja una reserva de cable en dichos puntos. Esta reserva tiene como finalidad facilitar las labores de instalación, fusión y conexión de las cajas de acceso destinadas a los usuarios finales. Asimismo, permite contar con holgura suficiente para realizar mantenimientos o intervenciones futuras sin comprometer la integridad del enlace. En la Figura 6.20 se muestra el tipo de reserva implementada y la forma en que se dispone en el poste.

En la Figura 6.21 se muestra la etapa final del tendido de la red troncal de fibra óptica, en la cual se aprecia la instalación concluida del cable sobre la infraestructura aérea, siguiendo la ruta previamente definida.

Una vez concluido el tendido de la red troncal, se procedió a la instalación de los ramales, previamente definidos en el diseño de la red con el objetivo de ampliar la cobertura para los usuarios finales. Estos ramales permiten la distribución eficiente del servicio, facilitando la conexión desde la red principal hacia las distintas áreas de atención al cliente. En la Figura 6.22 se muestra el tendido del primer ramal o derivación.



Figura 6.20 Reserva para mantenimiento e instalación de cajas NAP (elaboración propia).



Figura 6.21 Instalación final de la red troncal (elaboración propia).



Figura 6.22 Tendido del primer ramal o derivación (elaboración propia).

La primera derivación, o ramal, tiene una longitud de 500 metros. Esta derivación es la más grande ya que cubre gran parte de la comunidad.



Figura 6.23 Tendido final de la primera derivación (elaboración propia).

La segunda derivación tiene una longitud aproximada de 200 metros, forma parte de la red de distribución y permite extender la cobertura del servicio a las zonas previamente definidas en el diseño del proyecto.



Figura 6.24 Tendido de la segunda derivación o ramal (elaboración propia).

Al terminar el tendido de la fibra óptica, el siguiente paso es empezar a fusionar todas las cajas NAP. Se inicia con la fusión de un splitter 1x2, dado que la Olt que usamos para este proyecto solo tiene un puerto Pon y se requieren alimentar 2 hilos de fibra de 4 hilos. Como se muestra en la Figura 6.25 los hilos que se fusionaron a las dos salidas del splitter 1x2 es el hilo color azul y el color naranja.

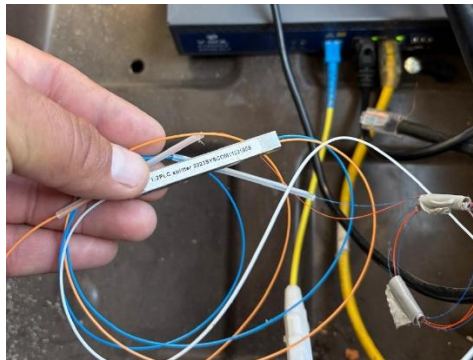


Figura 6.25 Fusión de Splitter 1x2 para alimentación de hilos azul y naranja. (elaboración propia).

Una vez fusionado el splitter y conectado a la Olt, se fusionan las cajas NAP, dado que la fibra óptica ya está alimentada por la Olt. Para la primera caja NAP se utiliza el hilo azul, al cual se le fusiona un splitter desbalanceado 90/10 donde el 10% se quedará en la caja y el 90% se seguirá para la siguiente caja. En la Figura 6.26 se muestra la señal en la que se identifica, en la primera caja, NAP, con un valor de -15.69 dBm.

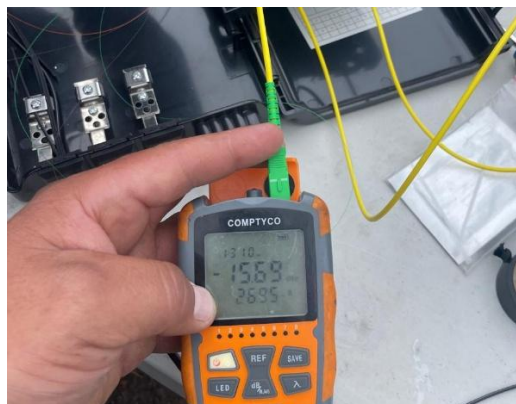


Figura 6.26 Potencia de la primera caja NAP (elaboración propia).

Para la segunda caja NAP se utiliza otro splitter 90/10, donde el 10% se quedará en la caja alimentando el splitter 1x8; el 90% seguirá para alimentar la siguiente caja NAP; después de fusionar el splitter, la potencia de la caja Nap queda en -14.95 dBm, como se muestra en la Figura 6.27.



Figura 6.27 Potencia de la segunda caja NAP (elaboración propia).

En la tercera caja NAP se fusionan dos splitters desbalanceados: un 50/50 que se fusionará con el hilo azul, el cual nos ayudará a dividir la señal, dado que en esa caja NAP existe una derivación. El otro splitter que se usa es un 70/30, que se fusionará con una de las salidas del splitter 50/50. La otra salida seguirá para la siguiente caja NAP. Del splitter 70/30 el 30% se quedará en la caja NAP y el otro 70% se utilizará para alimentar las cajas de la primera derivación. La intensidad de la señal en este punto es de -14.76 dBm.

Para la cuarta caja NAP se utiliza un splitter 50/50, en el que el 50% quedará en la caja NAP número cuatro y el otro 50% seguirá hacia la última caja NAP. Debido a que en esta caja estará la segunda derivación, se fusiona el hilo naranja a la fibra drop de un hilo. En la Figura 6.29 se muestra el nivel de potencia en el que quedo la cuarta caja NAP la cual tiene una señal de -15.99 dBm.



Figura 6.28 Potencia de la tercera caja NAP (elaboración propia).



Figura 6.29 Potencia de la cuarta caja NAP (elaboración propia).

En la quinta caja NAP ya no se utiliza un splitter desbalanceado; el hilo se fusiona directamente con el splitter 1x8 de la caja NAP, dado que es la última caja del hilo azul. En la Figura 6.30 se muestra la potencia en la que quedó la caja NAP, con una intensidad de señal de -16.54 dBm.

La primera derivación depende del mismo hilo azul al que previamente se le fusionó el splitter 70/30, en el que el 70% alimentará esta caja NAP. En la Figura 6.31 se muestra en cuánta señal quedó la caja, que es de -10.12 dBm.

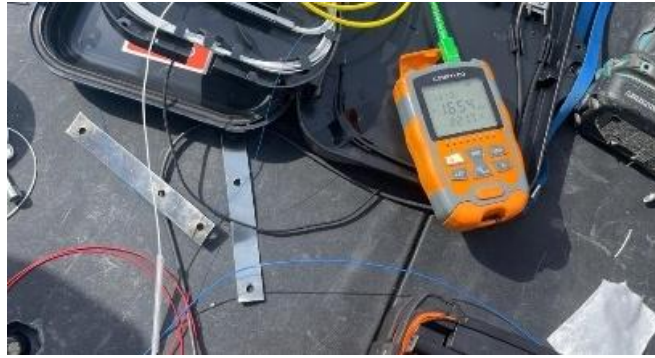


Figura 6.30 Potencia de la quinta caja NAP (elaboración propia).



Figura 6.31 Potencia de la sexta caja NAP (elaboración propia).

La segunda derivación sale de nuestra cuarta caja NAP, en la cual previamente ya se fusionó el hilo naranja a la fibra drop. Para la séptima caja se utilizó un splitter 90/10, en el que el 10% se quedará en la caja Nap y el 90% seguirá hacia la siguiente caja. En la Figura 6.32 se muestra en cuánta señal quedó la caja NAP la cual tiene una señal de -16.88 dBm.



Figura 6.32 Potencia de la séptima caja NAP (elaboración propia).

En la octava caja NAP se utilizaron dos splitters un 50/50 y un splitter 70/30 debido a que se realizará otra derivación. El splitter 50/50 se fusiona a la fibra drop para dividir la señal de manera proporcional. Una salida de ese splitter se fusionará a la derivación que se realizó y a la otra salida se le fusionará el splitter 70/30 en donde el 30% se quedará en la caja NAP y el otro 70% seguirá para las siguientes cajas NAP. En la Figura 6.33 se muestra la potencia de señal de la caja NAP, la cual es de -16.78 dBm.



Figura 6.33 Potencia de la octava caja NAP. Fuente: (Elaboración propia)

La novena caja NAP sale de la derivación realizada en la octava caja NAP, ya que en esta derivación solo se fusionarán dos cajas NAP. Se utilizó un splitter 50/50 que dividirá la señal para poder alimentar las dos cajas restantes. En la Figura 6.34 se muestra en cuánta señal quedó la novena caja NAP la cual es de -16.59 dBm.



Figura 6.34 Potencia de la novena caja NAP (elaboración propia).

Para la décima caja NAP, solo se fusionó la fibra drop con el splitter 1x8, ya que es la última caja de la derivación. En la Figura 6.35 se muestra la potencia de señal con la que se quedó la caja NAP la cual es de -15.65 dBm.



Figura 6.35 Potencia de la décima caja NAP (elaboración propia).

La onceava caja NAP sale del 70% de la caja en la que se hizo la derivación. Para esta caja se fusionará el hilo de la fibra drop directamente con el splitter de la caja NAP. En la Figura 6.36 se muestra en cuánta señal quedó la caja NAP la cual es de -12.37 dBm.



Figura 6.36 Potencia de la undécima caja NAP (elaboración propia).

Con el fin de sintetizar la información técnica recabada durante el proceso de fusión y empalme, la Tabla 6.1 consolida los niveles de potencia óptica medidos en cada una de las once cajas NAP instaladas, detallando su ubicación en la topología de la red y la configuración de los divisores utilizada.

Tabla 6.1 Resumen de mediciones de potencia óptica en cajas NAP.

Caja NAP	Ubicación en la Topología	Configuración de splitters	Potencia medida (dBm)
NAP 1	Red Troncal (Hilo Azul)	Desbalanceado 90/10	-15.69
NAP 2	Red Troncal (Hilo Azul)	Desbalanceado 90/10	-14.95
NAP 3	Red Troncal (Hilo Azul)	Desbalanceado 50/50 y 70/30	-14.76
NAP 4	Red Troncal (Hilo Azul)	Desbalanceado 50/50	-15.99
NAP 5	Red Troncal (Hilo Azul)	Splitter simétrico 1x8	-16.54

NAP 6	1ra Derivación	Splitter simétrico 1x8	-10.12
NAP 7	2da Derivación	Desbalanceado 90/10	-16.88
NAP 8	Derivación de NAP 7	Desbalanceado 50/50 y 70/30	-16.78
NAP 9	Derivación de NAP 8	Desbalanceado 50/50	-16.59
NAP 10	Derivación de NAP 9	Splitter simétrico 1x8	-15.65
NAP 11	Derivación de NAP 8	Splitter simétrico 1x8	-12.37

El análisis de los datos recopilados en la Tabla 6.1 demuestra la viabilidad técnica y el correcto dimensionamiento de la red óptica pasiva (GPON) implementada. Los niveles de potencia medidos en las cajas NAP oscilan entre un máximo de -10.12 dBm (NAP 6) y un mínimo de -16.88 dBm (NAP 7). Estos valores se encuentran holgadamente dentro del margen de sensibilidad de recepción de los equipos terminales (ONT) de clase B+, que operan de manera estable con niveles de potencia comprendidos entre aproximadamente -8 dBm y -28 dBm, de acuerdo con las especificaciones de los equipos y con los criterios establecidos en la recomendación ITU-T G.984 para sistemas GPON (ITU, 2019). La atenuación inherente de la fibra, así como las pérdidas introducidas por empalmes, conectores y elementos de distribución óptica, no comprometen la integridad de la señal en ningún punto de la red. En consecuencia, se verifica el cumplimiento de los parámetros técnicos requeridos para garantizar una transmisión confiable y la correcta operación de la infraestructura implementada.

La utilidad de estas pruebas de certificación radica en que no solo garantizan la operatividad inmediata del servicio, sino que también establecen una línea base técnica para el mantenimiento preventivo de la infraestructura. Asimismo, los resultados validan la eficacia de la estrategia de ingeniería empleada: el uso de *splitters* desbalanceados permitió compensar de manera asimétrica las pérdidas por longitud de fibra en los ramales más extensos, asegurando que todos los usuarios finales, independientemente de su distancia a la OLT o de la complejidad de su derivación, reciban una señal óptica de calidad, simétrica y apta para soportar planes de alta velocidad sin degradación del servicio.

6.2 Prueba de instalación de servicio de Internet

Al terminar de fusionar todas las cajas NAP, se realizan pruebas para verificar que la red esté funcionando correctamente. Para realizar esta prueba, se instalará un servicio de internet llamado PruebaSalto. Lo primero que se realiza es la fusión de un jumper con conector SC/APC a la fibra drop, la cual se utilizará para llevar el servicio al módem correspondiente. En la Figura 6.37 se muestra cómo se fusionan ambas partes de la fibra óptica.



Figura 6.37 Fusión de la fibra Drop con el jumper SC/APC (elaboración propia).

Una vez realizada la fusión se procede a conectar en un puerto de la caja NAP la cual nos proporcionará la señal para poder realizar la instalación como se muestra en la Figura 6.38



Figura 6.38 Conexión al puerto de la caja NAP (elaboración propia).

Después de conectar la fibra al puerto de la caja NAP, se realiza el tendido de la fibra drop hasta el domicilio donde se realizará la prueba correspondiente. Al llegar al domicilio, se fusiona nuevamente la fibra drop con un jumper SC/APC para conectar la fibra óptica al módem. Al realizar la fusión, se verifica que la señal del medidor de potencia llegue, como se muestra en la Figura 6.39; se aprecia que se recibe una señal de -16.05 dBm.



Figura 6.39 Medición de potencia en el domicilio (elaboración propia).

Después de comprobar que la señal se recibe correctamente en el destino, el siguiente paso es conectar la fibra óptica al módem y configurarlo. Para ello, se puede conectar por cable o por Wi-Fi; en este caso, se verifica por cable. Para esto, es necesario asignar una dirección IP a la computadora; puede ser 192.168.100.2. Ya estando conectado, y mediante el navegador, se ingresa la IP 192.168.100.1; como se muestra en la Figura 6.40, se redirigirá a la página de inicio del módem para ingresar un usuario y una contraseña. Por defecto son: usuario, telecomadmin y contraseña F0xB734Fr3@j%YEP, y estos datos dependen del proveedor de Internet principal.

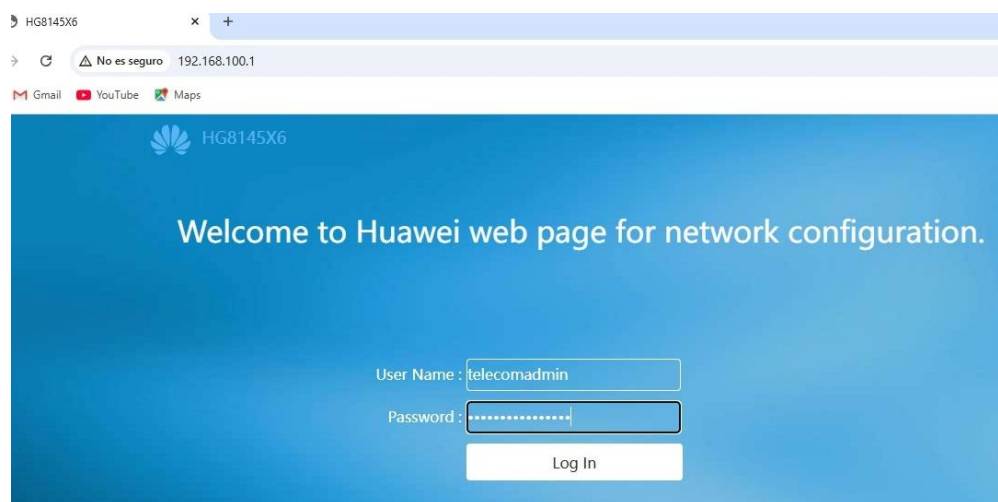


Figura 6.40 Inicio de sesión (elaboración propia).

Al entrar a la configuración de la ONT, en el apartado Advanced (que despliega diferentes pestañas), se selecciona el apartado WAN y, después, en NEW, donde se crea el nuevo perfil (llamado PruebaSalto, como se muestra en la Figura 6.41). Una vez creado el perfil, se guardan los cambios.

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying '192.168.100.1/index.asp'. The browser's address bar also shows 'No es seguro' and icons for YouTube and Maps. On the left side, there is a sidebar menu with the following items: Forward Rules, Application, WLAN, Voice, System Management, and Maintenance Diagno.. The main content area is titled 'Basic Information' and contains the following fields and options:

- Enable WAN: ☒
- Encapsulation Mode: ☐ IPoE ☒ PPPoE
- Protocol Type:
- WAN Mode:
- Service Type:
- Enable VLAN: ☒
- VLAN ID: (1-4094)
- 802.1p Policy:
- 802.1p: (1-1540)
- MRU: (1-1540)
- User Name:
- Password:
- Enable LCP Detection: ☐
- Binding Options:
 - ☐ LAN1 ☐ LAN2 ☐ LAN3 ☐ LAN4
 - ☐ SSID1 ☐ SSID2 ☐ SSID3 ☐ SSID5 ☐ SSID6 ☐ SSID7 ☐ SSID8

Below the 'Basic Information' tab, the 'IPv4 Information' tab is partially visible.

Figura 6.41 Creación de perfil en la ONT (elaboración propia).

El último paso es configurar el Wi-Fi del módem; para ello, desde la página de inicio, se selecciona el apartado Wi-Fi Configuration. Como el módem es de doble banda, se pone el mismo nombre y la misma contraseña en las bandas 2.4G y 5G para tener una sola red.

The screenshot shows the 'Wi-Fi configuration' section of the ONT interface. It features a diagram at the top with an 'Internet' icon connected to a red 'X' and a 'Wi-Fi configuration' icon with a blue antenna. Below the diagram, the 'Wi-Fi Setting' section contains the following fields and options:

- Enable 2.4G Network: ☒
- Wi-Fi Name: (1-32 characters)
- Password: (8-63 characters or 64 hexadecimal characters)
- ☐ Hide the network
- Enable 5G Network: ☒
- Wi-Fi Name: (1-32 characters)

Figura 6.42 Configuración del Wi-fi (elaboración propia).

Al terminar de configurar la ONT el siguiente paso es dar de alta el servicio en la plataforma de Wisphub. En el apartado de Clientes, se selecciona la zona a la que pertenecerá el nuevo cliente a registrar. En este caso, será Nodo FTTH para todos los clientes de fibra. Una vez seleccionada la zona, se selecciona el botón "Agregar cliente" para pasar a la siguiente pestaña de configuración.

El siguiente paso es llenar los campos de la pestaña de Datos de conexión: la información con la que se registrará al cliente en el sistema. Nombre y contraseña se manejan con los mismos datos; para el Remote Address PPoE se selecciona una dirección IP que se encuentre liberada. Estas aparecerán en forma de lista al seleccionar el botón de la lupa. Si se cuenta con las coordenadas de la dirección del cliente, se colocan en el apartado de coordenadas; esto para georreferenciar al cliente.

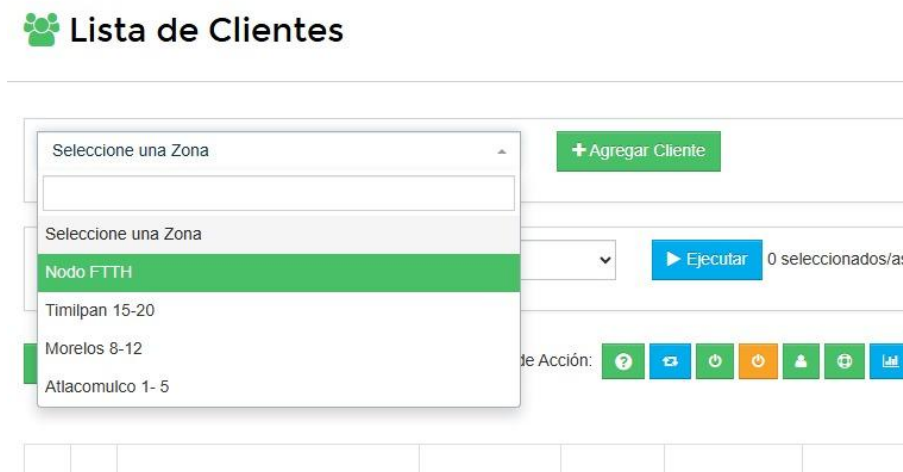


Figura 6.43 Agregar nuevo cliente (elaboración propia).

En cuanto al router y la zona, ya se marcan por defecto al seleccionar la zona. Para llenar el campo del plan de internet, se selecciona el paquete de megas que el cliente eligió para el contrato, que para esta prueba será un plan de 20 Mbps.

Datos de Conexión

Datos del Cliente

Configuración Avanzada

Facturación

Datos de Conexión

Nombre Secret Pppoe

PruebaSalto

Password PPPoE

PruebaSalto

Remote Address PPPoE

172.16.250.20

Local Address PPPoE

Mac Cpe

Q

Buscar mac en lista ARP

Q

Buscar mac en almacen

Coordenadas

Ej. 21.150168,-86.875023

Router cliente

Nodo FTTH

Zona cliente

Nodo FTTH

Plan internet

Speed-Download-20Mbps-PPPoE

Sectorial/Nodo/NAP

Figura 6.44 Datos de la conexión PruebaSalto (elaboración propia).

En la siguiente pestaña de Datos del Cliente, se vuelve a llenar el campo de nombre exactamente como se llenaron en la pestaña de datos de conexión. En cuanto al Barrio/Localidad/Departamento, se coloca el nombre de la comunidad, que en este caso es El Salto, Municipio Atlacomulco, el CP correspondiente a la comunidad y el número de contacto que el cliente proporcionó.

Datos de Conexión

Datos del Cliente

Configuración Avanzada

Facturación

Datos del cliente

Nombre

PruebaSalto

Apellido

DNI/C.I./C.C.

Dirección de correo electrónico

External ID

Dirección

Barrio/Localidad/Departamento

El Salto

Ciudad/Municipio

Atlacomulco

Código Postal

50540

Teléfono Celular

7121961891

Figura 6.45 Datos del cliente (elaboración propia).

En la pestaña de Configuración Avanzada no se coloca nada, pasando directamente al apartado de Facturación, donde se configuran las fechas de pago y corte de cada cliente, así como el día en que se les enviará su aviso de pago. Estas fechas dependen del día en que se instale el servicio o de las fechas acordadas con el cliente. Como último paso, se guardan los cambios para que el perfil del cliente quede configurado y se pueda visualizar desde la lista del dashboard de Wisphub, y este quede registrado en el router principal, permitiendo el enlace de la ONU con el perfil del cliente.

Después de dar de alta el perfil en Wisphub se procede a realizar una prueba de velocidad para confirmar que el servicio trabaja correctamente. Para esta prueba se dio de alta con un plan de 20 Mb. En la figura se muestra la prueba de velocidad, en la que se observa que las velocidades de bajada y de subida son similares (simétricas).

NOTA: Solo edite estos campos si desea que el cliente tenga fecha de corte y facturación diferente a su Zona.

Tipo	Prepago	
Tipo de aviso al crear facturas	Correo	
Crear factura	Dia 1 de cada mes	07:00:00
Dia pago	Dia 2 de cada mes	
Recordatorio de Pago en Pantalla, Notificaciones Push, SMS/Whatsapp y Correo	Dia 1 de cada mes	11:30:00
Enviar Notificaciones Push	Si	
Dia corte	Dia 3 de cada mes	11:30:00
Suspender servicio	1 Facturas Vencidas	

Figura 6.46 Configuración de días de pago (elaboración propia).



Lista de Clientes

Figura 6.47 Registro correcto del cliente PruebaSalto (elaboración prueba).



Figura 6.48 Prueba de velocidad (elaboración propia).

6.2.1 Pruebas de funcionamiento

Después de realizar la prueba de funcionamiento de la red, se verifica que funciona correctamente. El siguiente paso es instalar distintos servicios en diversos puntos de la comunidad de El Salto. En la Tabla 6.2 se muestran las pruebas de los servicios instalados, en las que se registran el número de cliente, el plan contratado, la ubicación y la prueba de velocidad realizada, lo que demuestra el funcionamiento en diferentes puntos de la red.

Tabla 6.2 Pruebas de funcionamiento de la red.

Cliente	Plan contratado	Ubicación	Prueba de velocidad

Ciente 1	10 Mbps	19°48'46.6"N 99°47'57.0"W	
Ciente 2	20 Mbps	19°48'50.3"N 99°48'03.8"W	
Ciente 3	15 Mbps	19°48'53.3"N 99°48'00.2"W	
Ciente 4	30 Mbps	19°49'01.0"N 99°48'06.7"W	
Ciente 5	50 Mbps	19°48'56.9"N 99°48'15.3"W	
Ciente 6	10 Mbps	19°48'54.6"N 99°47'53.3"W	

Cliente 7	15 Mbps	19°48'57.4"N 99°47'55.2"W	
-----------	---------	---------------------------	---

Los resultados obtenidos en campo demuestran la viabilidad técnica y el correcto funcionamiento de la red híbrida implementada en la localidad de El Salto. Las mediciones empíricas del presupuesto de potencia óptica en las once cajas NAP, con valores que oscilan entre -10.12 dBm y -16.88 dBm, confirman que la señal se mantiene dentro de los márgenes de sensibilidad para que la tecnología GPON funcione adecuadamente (típicamente entre -8 dBm y -27 dBm). Asimismo, la prueba de rendimiento del enlace troncal, que alcanzó velocidades cercanas a 600 Mbps, validó las simulaciones realizadas previamente en la plataforma *Cloud Mimoso*, garantizando un ancho de banda troncal suficiente y holgado para soportar la demanda proyectada de la comunidad.

En el ámbito operativo, la integración de la plataforma de gestión *WispHub* permitió un aprovisionamiento eficiente y automatizado de los servicios, como se evidenció en la instalación piloto 'PruebaSalto' y en las pruebas de funcionamiento con los primeros usuarios (Tabla 5.1). Los resultados de las pruebas de velocidad (*throughput*) en distintos puntos geográficos de la comunidad confirman la entrega simétrica y estable del ancho de banda contratado (de 10 a 50 Mbps), sin degradación significativa de la señal. Esto valida que la topología de red diseñada es correcta y, al mismo tiempo, verifica la calidad de los empalmes y la correcta instalación de los elementos pasivos.

Los resultados corroboran que el diseño y la ejecución de la infraestructura cumplieron con los parámetros de ingeniería y los estándares establecidos al inicio del proyecto. El éxito de estas pruebas de campo certifica la operatividad del sistema, transformando una carencia histórica de conectividad en una red de telecomunicaciones funcional, escalable y de alta calidad. Este desempeño técnico sienta las bases para el análisis final del proyecto, que se detalla en el siguiente apartado de conclusiones, donde

se evaluará el alcance global de la solución, su impacto habilitador en la comunidad y las posibles líneas de trabajo a futuro.

CONCLUSIONES

El proyecto permitió cumplir satisfactoriamente la meta de ingeniería planteada mediante el diseño, la implementación y la validación técnica de una red de comunicaciones híbrida en la localidad de El Salto, Atlacomulco. La solución desarrollada integró un radioenlace punto a punto de alta capacidad como red troncal y una infraestructura de distribución basada en la tecnología FTTH-GPON para el acceso de los usuarios finales. Esta combinación demostró ser la alternativa viable y eficiente para superar las limitaciones geográficas de la zona y la ausencia de infraestructura de telecomunicaciones previa.

La validación experimental confirmó el diseño propuesto y el correcto dimensionamiento de la infraestructura instalada. Las mediciones en las cajas de acceso óptico evidenciaron niveles de potencia dentro de los márgenes operativos recomendados para los equipos terminales de red, lo que garantiza una recepción adecuada de la señal y un funcionamiento confiable del servicio. De igual forma, las pruebas efectuadas sobre el radioenlace principal corroboraron un desempeño cercano a los 600 Mbps, resultado que coincidió con las estimaciones obtenidas durante la fase de simulación y aseguró una capacidad suficiente para atender la demanda proyectada de la comunidad.

Desde una perspectiva metodológica y tecnológica, el proyecto ofrece una referencia documentada para el despliegue de redes de telecomunicaciones en entornos rurales o de difícil acceso. La utilización de herramientas de georreferenciación para el levantamiento topográfico, complementada con plataformas de gestión automatizada de servicios, permitió optimizar los procesos de instalación, mantener la trazabilidad de la infraestructura y facilitar un aprovisionamiento eficiente, seguro y escalable para los usuarios finales.

Finalmente, la arquitectura de red implementada presenta un elevado potencial de escalabilidad, lo que favorece futuras ampliaciones. Como continuación natural del proyecto, se recomienda incorporar sistemas autónomos de respaldo energético, basados

en paneles solares y bancos de baterías, en el nodo remoto de la comunidad, con el propósito de garantizar la continuidad del servicio ante interrupciones del suministro eléctrico. Asimismo, el crecimiento futuro de la demanda podrá atenderse mediante la incorporación de nuevos puntos de acceso óptico o, en una etapa posterior, mediante la migración a mejores tecnologías de multiplexación para incrementar la capacidad de la red conforme aumente el número de suscriptores en la localidad.

Como limitación del trabajo, cabe señalar que la investigación se centró en el diseño, la implementación y la validación técnica de la red de telecomunicaciones, con el objetivo de verificar su correcto funcionamiento. En este sentido, no se incluyeron un análisis económico detallado ni el presupuesto del proyecto, ya que dichos aspectos se encuentran fuera del alcance de los objetivos planteados y corresponden a estudios de factibilidad financiera. Asimismo, los costos asociados a equipos, materiales, mano de obra y logística de instalación pueden variar en función del proveedor, de la disponibilidad de los recursos y de las condiciones del mercado, por lo que un análisis económico requeriría una evaluación específica e independiente de la realizada en esta investigación.

REFERENCIAS

Agrawal, G. (2012). *Fiber-Optic Communication Systems* (4th ed.). Hoboken, New Jersey, U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc.

Albarrán, C. (14 de octubre de 2019). *Qué es la fibra óptica y para qué sirve*. Obtenido de REDES & TELECOM: <https://www.redestelecom.es/especiales/fibra-optica-que-es-como-funciona-y-mejores-aplicaciones/#:~:text=La%20fibra%20monomodo%20tiene%20un%20n%C3%BAcleo%20mucho,transmite%20un%20haz%20luminoso%20por%20el%20medio>.

Albornoz, J. M. (2000). *Radioenlaces I*. España: Editorial Academia Española.

Badillo Sanchez, W. J. (2024). *Propuesta de diseño de una red FTTH con el fin de distribuir servicio de fibra óptica en la comunidad de Sabanillas en Tuxpan, Veracruz para la empresa Digy Networks S.A. de C.V.* Veracruz, m-EXICP: Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache.

Cabazos, M. (26 de marzo de 2026). *Cableado Estructurado - Sistemas de Instalación y Accesorios*. Obtenido de Universidad TVC en Línea: <https://foro.tvc.mx/docs/instalaci%C3%B3n-y-accesorios-cableado-estructurado>

Cadena Borja, B. A., & Uzuay Valenzuela, B. S. (04 de octubre de 2022). *Implementación de un radioenlace para expansión de cobertura de internet en la provincia de cotopaxi*. Quito, Ecuador: Tesis de Electrónica y Comunicaciones, Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22411>

Dioen Biosca Rojas, R. Y. (n.d.). *Las fibras ópticas: una revisión de su*. RIELAC, Habana.

- ENACOM. (24 de marzo de 2017). *enacom.gob*. Obtenido de Ente Nacional de Comunicaciones: https://www.enacom.gob.ar/-que-es-el-espectro-radioelectrico-_p117
- FIBCONET. (7 de abril de 2024). *¿Qué es la atenuación de fibra óptica?* Obtenido de Conocimiento de la Industria: <https://fibconet.com/es/what-is-attenuation-in-optical-fiber/>
- FS.COM INC. (04 de noviembre de 2006). *Página oficial de FS.COM*. Obtenido de FS Norteamérica: <https://www.fs.com/mx>
- FS.COM INC. (3 de mayo de 2023). *Soluciones FS*. Obtenido de FS Norteamérica: <https://www.fs.com/mx/>
- Godoy Trujillo, P. E., & Caiza Quishpe, L. A. (2022). Características y ventajas existentes en la conexión inalámbrica y fibra óptica. Una revisión bibliográfica. *E-IDEA Journal of Engineering Science*, 4(9), 14-25.
- Gomez, L. A. (2022). *Implementación de una red de fibra óptica para el servicio de internet del centro poblado de Hualahoyo*. Peru: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Guerrero Pico, J. B. (2022). *Diseño de un sistema de radioenlace para soportar volumen de tráfico de datos de internet en la empresa Globaltronik S. A. S*. San Jose de Cucuta: Universidad Francisco De Paula Santander.
- HPE Juniper Networking. (11 de noviembre de 2025). *¿Qué es una red óptica pasiva (PON)?* Obtenido de HPE Juniper Networking website: <https://www.juniper.net/mx/es/research-topics/what-is-pon.html>
- INEGI. (2023). *Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH)* . Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/programas/endutih/2023/>

info@CITEL. (2010, Abril 12). Comision Interamericana de Telecomunicaciones.
Washington, D.C., Washington, United States of America.

ITU. (2019, 08 29). *Union Internacional de Telecomunicaciones*. Retrieved from
<https://www.itu.int/rec/t-rec-g.984.2/es>

Keiser. (2011). *Optical Fiber Communications*. McGraw-Hill.

López Fernández, I. (2018). *Diseño de una red de fibra óptica FTTH para un bloque de edificios*. Valladolid: Universidad de Valladolid.

LUCAS, A. R. (2022). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE UN PROVEEDOR DE SERVICIO DE INTERNET INALÁMBRICO PARA LA PARROQUIA CHONTAPUNTA PROVINCIA DEL NAPO*. Ecuador: PONTIFICA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR SEDE ESMERALDAS .

Mimosa. (2025, 08 3). *Mimosa Networks*. Retrieved from mimosa.co:
<https://mimosa.co/products/c5c>

Pacheco, A. J. (2020). *La fibra óptica como medio para el desarrollo de las telecomunicaciones en el ecuador*. Ecuador: Journal of engineering sciences.

Pineda Fuster, N. (2023). *Plan de despliegue de una red de telecomunicaciones de fibra optica FFTH*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

PROMAX. (26 de septiembre de 2019). *PROMAX TEST & MEASUREMENT, SLU*. Obtenido de Tipos de conectores de fibra óptica: Guía sencilla:
<https://www.promax.es/esp/noticias/578/tipos-de-conectores-de-fibra-optica-guia-sencilla/>

PueblosAmerica.com. (29 de 05 de 2024). *El Salto*. Recuperado el 2025, de
<https://mexico.pueblosamerica.com/i/el-salto-70/>

Reynolds, S. (2010). Evolución de las Redes Ópticas. *Actualidad Tecnológica*, 11-14.

- Rincón Aceña, M. (2022). *Diseño de las redes de radiofrecuencia para la comunicación entre estación base y router en móviles 5G*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación.
- Riquelme, A. O. (2018). *Estudio práctico del despliegue de una red de distribución FTTH*. Cartagena, Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena.
- silexfiber. (10 de junio de 2024). *Qué es un splitter*. Obtenido de silexfiber.com:
<https://silexfiber.com/que-es-un-splitter/>
- SOL, V. (2025, Julio 13). *syscom.mx*. Retrieved from syscom:
<https://www.syscom.mx/products/216430>
- Solano Sánchez, G. R., & Zhagñay Castro, D. S. (2021). *Diseño, Implementacion y prueba de una red de fibra optica para el laboratorio de telecomunicaciones de la universidad politecnica selesiana*. Quito, Ecuador: Universidad Politecnica Selesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20457>
- Syscom. (12 de junio de 2025). *Fusionadora de Fibra Óptica* . Obtenido de Productos Syscom: <https://www.syscom.mx/products/234201>
- Syscom. (12 de octubre de 2025). *Productos Syscom*. Obtenido de Syscom México:
<https://www.syscom.mx/products/151126>
- Telefónica S.A. (29 de Marzo de 2026). *Qué es Ethernet y qué tipos de cables existen*. Obtenido de Telefónica S.A.: <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/que-es-ethernet-tipos-cables/>
- The Fiber Optic Association Inc. (2018, marzo 12). *Fibra Óptica*. Retrieved from The Fiber Optic Association: https://www.thefoa.org/ESP/Fibra_optica.htm
- Twintelecom Toledo. (12 de octubre de 2025). *Internet por Radio Enlace Wifi: Qué es y cómo funciona*. Obtenido de TWIN TELCOM :

<https://www.twintelcom.com/internet-por-radio-enlace-wifi-que-es-como-funciona/>

Union internacional de telecomunicaciones. (2021). *Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa* . Recomendación UIT-R P.530-18 .

Universidad de las Palmas. (2010). Características generales de un radioenlace. En *Radioenlaces* (págs. 1-24). España.

Valarezo Loayza, P. (2020). Guía metodológica de levantamiento de información para el diseño de redes FTTH-GPON con enfoque QoS. *Revista Iberica De Sistemas y Tecnologías de la Informacion*, 528-539.

Vásquez, M. T. (2017, Diciembre 16). *ANÁLISIS Y DISEÑO DE COMUNICACIÓN PUNTO PARA ENLACE DE DATOS*. Retrieved from pistaseducativas:
<https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/download/1004/865>

WispHub S.A. de C.V. (22 de abril de 2026). *¿Qué es WispHub?* Obtenido de Sitio oficial de WispHub: <https://wisphub.net/>

Zapardiel Prieto, J. (2014). *Diseño de una red de acceso mediante fibra óptica*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

GLOSARIO

ADSS (All-Dielectric Self-Supporting): Cable de fibra óptica autoportado sin elementos metálicos, diseñado específicamente para tendido aéreo en postes de telecomunicaciones.

API (Application Programming Interface): Interfaz de programación que permite la comunicación e integración automatizada entre diferentes sistemas o plataformas de software.

Caja NAP (Network Access Point): Punto de distribución aérea o terrestre donde se alojan los divisores ópticos (splitters) y se realizan las derivaciones hacia los equipos terminales de los usuarios.

dBm (Decibelio-miliwatio): Unidad logarítmica utilizada para expresar niveles de potencia óptica o eléctrica absolutos respecto a un miliwatio de referencia.

DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol): Protocolo de red que asigna de forma automática direcciones IP y parámetros de configuración a los dispositivos conectados.

FTTH (Fiber to the Home): Arquitectura de red que utiliza fibra óptica para llevar la conectividad directamente hasta el interior del domicilio o negocio del usuario final.

GPON (Gigabit Passive Optical Network): Estándar internacional de red óptica pasiva que permite altas velocidades de transmisión mediante el uso de divisores de señal sin alimentación eléctrica activa.

ISP (Internet Service Provider): Proveedor de Servicios de Internet.

Latencia: Tiempo de retardo que experimenta un paquete de datos al viajar desde su origen hasta su destino a través de una red.

MAC (Media Access Control): Dirección física única de 48 bits asignada a cada interfaz de red para su identificación inequívoca en una red local.

ODN (Optical Distribution Network): Red de distribución óptica que comprende todos los componentes pasivos (cables, conectores, splitters, cajas NAP) ubicados entre la central del proveedor y el equipo del usuario.

OLT (Optical Line Terminal): Equipo activo ubicado en la central del proveedor que controla, gestiona y multiplexa las señales ópticas hacia la red de distribución.

ONT (Optical Network Terminal): Dispositivo instalado en el domicilio del usuario que convierte la señal óptica recibida en señales eléctricas (Ethernet, Wi-Fi, voz) para su uso.

OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer): Instrumento de medición que localiza fallas, empalmes y curvaturas en un tramo de fibra óptica mediante el análisis de pulsos de luz reflejados.

PCQ (Per Connection Queue): Mecanismo de gestión de tráfico que distribuye de forma dinámica y equitativa el ancho de banda disponible entre todas las conexiones activas.

POE (Power over Ethernet): Tecnología que permite suministrar energía eléctrica y transmitir datos de comunicación a través de un mismo cable de par trenzado.

PPPoE (Point-to-Point Protocol over Ethernet): Protocolo de encapsulación utilizado para autenticar usuarios, establecer sesiones y gestionar asignaciones de IP sobre redes Ethernet.

PtP (Point-to-Point): Enlace de comunicaciones dedicado que conecta directamente dos nodos o ubicaciones específicas, garantizando ancho de banda exclusivo.

QoS (Quality of Service): Conjunto de mecanismos y políticas de red que garantizan el rendimiento, priorización y estabilidad del tráfico de datos según el servicio contratado.

SaaS (Software as a Service): Modelo de distribución de software donde la aplicación se aloja en servidores remotos (nube) y se accede a ella mediante internet, sin necesidad de infraestructura local.

SNR (Signal-to-Noise Ratio): Relación señal-ruido. Métrica que compara la potencia de la señal útil con el nivel de ruido de fondo, determinando la calidad y estabilidad del enlace.

Splitters (Divisores ópticos): Componentes pasivos que dividen una señal de luz entrante en múltiples señales de salida de menor potencia, lo que permite compartir un solo hilo de fibra entre varios usuarios.

Throughput: Tasa real de transferencia de datos útil que atraviesa un enlace de red en un período determinado, expresada comúnmente en Mbps o Gbps.

WISP (Wireless Internet Service Provider): Proveedor de Servicios de Internet Inalámbrico, generalmente encargado de ofrecer conectividad en zonas donde el despliegue de cable tradicional no es viable.

Zona de Fresnel: Volumen elíptico alrededor de la línea de visión directa de un enlace de radiofrecuencia que debe mantenerse libre de obstáculos para evitar difracciones y pérdidas de señal.