

Modelo de red híbrida FO–RF para la expansión de conectividad rural entre Palogordo (punto troncal) y Chocoita (sitio de implementación): diseño, implementación y validación técnica en convenio con la empresa Reito.

Christian Gabriel Martínez Martínez

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero en Telecomunicaciones

Directora

Silene Viloría Soto

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Ingeniería de Telecomunicaciones

2026

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, por su apoyo incondicional, su fortaleza y la confianza que siempre depositaron en mí. A ellos les debo la motivación que hizo posible la culminación de este proyecto académico.

También lo dedico a todas las comunidades rurales que, a pesar de las limitaciones de infraestructura, continúan apostando por el acceso a la tecnología como una herramienta para transformar su realidad. Este trabajo es, en esencia, para ellos.

Agradecimientos

Deseo expresar mi agradecimiento a la Universidad Santo Tomás, por impulsar mi formación profesional y proporcionar el marco académico en el que este trabajo fue posible. Reconozco especialmente el acompañamiento del docente Francisco Fernando Dietes, evaluador del proyecto, cuyo criterio técnico fue decisivo en la consolidación de los resultados, así como la orientación de la docente Silene Viloría Soto, quien brindó un acompañamiento cercano y fundamental en cada fase del proceso.

Agradezco profundamente a la empresa Reito Telecomunicaciones, encargada de la implementación de la red híbrida, por su compromiso técnico y su colaboración en campo. De igual manera, a Iluminación San Juan de Girón, por aportar la infraestructura de postes necesaria para el montaje del sistema.

Gracias a todos quienes contribuyeron con su trabajo, conocimiento y disposición, este proyecto pudo materializarse con éxito.

Contenido

Introducción	15
1. Propuesta de modelo de conectividad rural mediante red híbrida FO–RF	17
1.1 Formulación del problema	17
1.2 Objetivos	19
1.2.1 . Objetivo general	19
1.2.2 . Objetivos específicos	20
1.3 Justificación	20
2. Marco referencial	23
2.1 Marco teórico	24
2.1.1 Ámbito internacional	24
2.1.2 Ámbito nacional	24
2.1.3 Ámbito local	25
2.1.4 Radiofrecuencia	26
2.2 Marco Conceptual	30
2.2.1 Migración de redes	30
2.2.2 Modelos de migración	31
2.2.3 Tecnologías de fibra óptica	32
2.2.4 Equipos terminales, infraestructura pasiva y parámetros de configuración .	33
2.2.5 Convergencia tecnología FO + RF	35

2.3	Marco normativo y contextual	36
3.	Metodología	37
3.1	Enfoque general	38
3.2	Fases metodológicas	38
4.	Plan de trabajo.....	41
5.	Desarrollo del proyecto.....	42
5.1	Levantamiento topográfico y caracterización técnica del territorio	43
5.2	Diagnóstico de infraestructura existente	45
5.3	Proyección de demanda y estimación de capacidad	47
5.3.1	Capacidad del puerto GPON.....	47
5.3.2	Relación de Split óptico y número de usuarios.....	48
5.3.3	Planes comerciales y perfil de consumo	48
5.3.4	Análisis cuantitativo de simultaneidad, capacidad y overbooking.....	49
5.3.5	Conclusión del dimensionamiento.....	50
5.4	Diseño técnico de sistema híbrido FO+RF	51
5.4.1	Diseño del enlace de radiofrecuencia	51
5.4.2	Diseño del sistema de fibra óptica GPON	57
5.4.3	Justificación tecnológica del uso de GPON en el proyecto	58
5.5	Instalación de infraestructura física	62
5.5.1	Montaje de postes, herraje y torre.....	63
5.5.2	Empalme y fusiones.....	64

5.5.3	Implementación.....	65
5.6	Instalación y configuración de equipos activos	67
5.6.1	Equipos GPON.....	68
5.6.2	Equipos de radiofrecuencia.....	69
5.7	Pruebas técnicas y validación operativa	70
5.7.1	Potencia óptica.....	70
5.7.2	Pruebas de red.....	71
5.7.3	Estabilidad RF.....	74
5.8	Herramientas de simulación, configuración y gestión de red	76
6.	Cronograma.....	79
7.	Presupuesto	80
8.	Conclusiones.....	81
9.	Trabajo Futuro	83
	Referencias.....	84

Lista de figuras

Figura 1. *Porcentaje de viviendas ocupadas con personas presentes que tienen acceso a servicio de internet en Colombia, 2018..... 18*

Figura 2. *Proyección de línea de vista (LoS) y zonas de sombra entre Palogordo y Chocoita mediante análisis geográfico 43*

Figura 3. *Plano topográfico del corredor Palogordo–Chocoita con nodos de fibra óptica existentes 44*

Figura 4. *Estudio de topología y línea de vista de estaciones mediante análisis de campo y proyección geográfica. 45*

Figura 5. *Gráfica de número de usuarios interesados en el servicio de conectividad rural (estimación 40:1) 46*

Figura 6. *Diagrama de radiofrecuencia (RF) de la red de acceso con enlace PTP y distribución sectorial..... 52*

Figura 7. *Enlace RF punto a punto para la interconexión entre nodos de la red híbrida FO–RF. 53*

Figura 8. *Topología física de la red de acceso por fibra óptica en la vereda Chocoita. 54*

Figura 9. *Topología lógica de la red GPON implementada 55*

Figura 10. *Escenario de migración tecnológica de enlaces RF a fibra óptica en la red rural propuesta..... 56*

Figura 11. *Diagrama de distribución de fibra óptica y asignación de hilos en la red GPON. ... 58*

Figura 12. *Diagrama de componentes del sistema híbrido y proyección de costos estimados por tramo. 62*

Figura 13. *Bobinas de fibra óptica de acometida utilizadas para el tendido aéreo del sistema híbrido.*..... 65

Figura 14. *Despliegue en campo de bobina de fibra óptica para el tendido aéreo en la vereda Chocoita.*..... 66

Figura 15. *Preparación del terreno para la instalación de postes de soporte de la red de fibra óptica aérea.* 66

Figura 16. *Poste de concreto ya instalado con luminaria y herrajes utilizados como soporte para el cableado de fibra óptica aérea.* 67

Figura 17. *Instalación de antena de radiofrecuencia con sistema de alimentación solar y gabinete de telecomunicaciones en sitio troncal* 69

Figura 18. *Gabinete de telecomunicaciones para recepción de enlace de radiofrecuencia y distribución hacia el sistema híbrido FO–RF.* 70

Figura 19. *Métricas de throughput y capacidad del canal en enlace Mikrotik (TX/RX).*..... 71

Figura 20. *Prueba de ancho de banda y estabilidad del canal mediante Bandwidth Test en Mikrotik*..... 72

Figura 21. *Gestión de tráfico y asignación de ancho de banda por usuario mediante colas simples (Simple Queues)* 73

Figura 20. *Proceso de empalme por fusión de fibra óptica utilizando máquina fusionadora y herramientas especializadas.* 74

Figura 21. *Instalación de caja NAP de derivación para almacenamiento y distribución de fibra óptica hacia las ONUs de los usuarios*..... 75

Figura 22. *Proceso de verificación final y activación del sistema en el rack de telecomunicaciones principal.*..... 76

Figura 23. *Análisis de línea de vista (LoS) – Google Earth Pro* 77

Figura 24. *Interfaz de configuración y monitoreo de RouterOS – Winbox* 78

Figura 25. *Panel de gestión y monitoreo de red – WispHub* 79

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Plan de trabajo</i>	41
Tabla 2. <i>Comparación técnica entre tecnologías PON y GPON.</i>	59
Tabla 3. <i>Matriz DOFA de la tecnología GPON aplicada a zonas rurales</i>	60
Tabla 4. <i>Rubros del Proyecto</i>	64
Tabla 5. <i>Cronograma</i>	79
Tabla 6. <i>Presupuesto</i>	80

Resumen

El presente documento expone el diseño e implementación de una red híbrida de telecomunicaciones que combina radiofrecuencia y fibra óptica, con el propósito de brindar acceso a internet de calidad en la vereda rural Chocoita, ubicada en el municipio de Girón, Santander. Esta zona enfrenta dificultades de acceso, limitada infraestructura pública de telecomunicaciones y una demanda insatisfecha de servicios digitales básicos.

Durante la planificación del proyecto se identificaron los principales retos técnicos, logísticos y normativos asociados con la conectividad rural, tales como la topografía variada, los altos costos del tendido subterráneo y la falta de cobertura de los proveedores tradicionales. Como solución, se propuso una arquitectura híbrida que utiliza enlaces de radiofrecuencia como troncal y fibra óptica aérea instalada en postes metálicos y de concreto para la distribución local.

Parte de la infraestructura de soporte utilizada pertenece a la concesión de Iluminación San Juan de Girón, empresa que opera bajo convenio con la Alcaldía. Este recurso permitió reducir costos y optimizar el despliegue en ciertos tramos, aunque fue necesario instalar nuevos postes en zonas críticas para extender la conectividad desde Chocoita hasta Palogordo, garantizando continuidad, seguridad y soporte técnico.

La metodología incluyó levantamientos topográficos, gestión de permisos, instalación de postes y herrajes, tendido de fibra óptica, empalmes y fusiones, así como pruebas de potencia para validar el rendimiento. Igualmente, se abordó la activación del servicio, la instalación de equipos terminales en los hogares y la capacitación comunitaria en aspectos básicos de uso y mantenimiento de la red.

Finalmente, el documento incorpora la revisión bibliográfica y normativa, un presupuesto estimado, cronograma de trabajo y un análisis del impacto social, técnico y económico del proyecto. Los resultados evidencian la viabilidad de soluciones híbridas como modelo replicable y escalable para cerrar la brecha digital en zonas rurales de Colombia con condiciones similares.

Palabras clave: conectividad rural, fibra óptica, radiofrecuencia, GPON, inclusión digital, sostenibilidad.

Abstract

This document presents a graduation project that describes the design and implementation of a hybrid telecommunications network combining radio frequency and fiber optics to provide reliable internet access in the rural area of Chocoita, located in the municipality of Girón, Santander. This region faces physical access limitations, lack of telecommunications infrastructure, and an unmet demand for essential digital services.

The project identified key technical, logistical, and regulatory challenges related to rural connectivity, such as rugged topography, high underground deployment costs, and the absence of traditional service providers. To address these issues, a hybrid network architecture was deployed, using radio frequency links for the backbone and aerial fiber optics installed on both metal and concrete poles for local distribution.

Part of the supporting infrastructure leveraged for the deployment belongs to the concession of Iluminación San Juan de Girón, a company operating under agreement with the Girón Mayor's Office. This allowed cost reduction and optimization in certain segments, while the installation of new poles in critical areas extended the fiber network from Chocoita to Palogordo, ensuring continuity, safety, and technical support for the cabling.

The methodology included topographic surveys, permit management, pole installation, fiber optic deployment, fusion splicing, and network performance testing. It also covered service activation, user terminal installation, and community training for basic network operation and maintenance.

Finally, a theoretical and regulatory framework was integrated, along with a budget estimate, work schedule, and an analysis of the social, technical, and economic impact of the project. The results demonstrate the technical and socio-economic feasibility of hybrid models for digital inclusion,

offering a replicable and scalable solution for rural connectivity in similar contexts across the country.

Keywords: rural connectivity, GPON, radio frequency, fiber optics, availability, digital inclusion.

Introducción

En Colombia, las brechas de conectividad entre las zonas urbanas y rurales siguen siendo una de las principales barreras para el desarrollo equitativo del país. Mientras que en los centros urbanos la conectividad es una herramienta común de trabajo, educación, salud y comercio, en las zonas rurales aún se enfrenta a múltiples limitaciones técnicas, económicas y geográficas que dificultan el acceso a internet de calidad. Esta realidad afecta directamente el progreso de miles de comunidades que requieren integrarse al mundo digital para mejorar su calidad de vida y sus oportunidades de crecimiento [1], [2].

El presente trabajo de grado surge como respuesta a esta necesidad, con el objetivo de implementar una solución técnica real y funcional para el acceso a internet en la vereda Chocoita, ubicada en el municipio de Girón, Santander. Esta zona se caracteriza por su difícil acceso geográfico, baja densidad poblacional y limitada infraestructura de telecomunicaciones. Estas condiciones hacen inviable, desde el punto de vista comercial, la inversión por parte de operadores tradicionales, lo que obliga a explorar nuevas formas de conectividad adaptadas al contexto rural [3], [4].

Con base en las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y la política TIC del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) se opta por una red híbrida que combine enlaces de radiofrecuencia (RF) para la transmisión de datos, con una distribución local mediante fibra óptica aérea. Esta arquitectura permite superar obstáculos geográficos y reducir costos operativos, garantizando al mismo tiempo un servicio confiable, escalable y de alta capacidad [4], [5]. Además, se establece una alianza con la empresa Reito, encargada de la operación del servicio en zonas rurales, y se gestiona el uso compartido de

infraestructura con la empresa Iluminación San Juan de Girón, entidad que posee postes en concesión con la Alcaldía de Girón.

El modelo propuesto integra conocimientos técnicos en diseño de redes, planificación de infraestructura, pruebas de potencia óptica y análisis de normativas locales como la Resolución CRC 5050 de 2016 [6], enmarcada dentro de la Ley 1341 de 2009, conocida como Ley TIC [7], modificada por la Ley 1978 de 2019 [8]. A su vez, responde a los lineamientos de la Ley 2108 de 2021, que reconoce el acceso a internet como un derecho fundamental en Colombia [9]. La solución no solo tiene impacto técnico, sino también social, al contribuir al cierre de la brecha digital y facilitar el acceso a herramientas digitales para educación, salud, comunicación y emprendimiento.

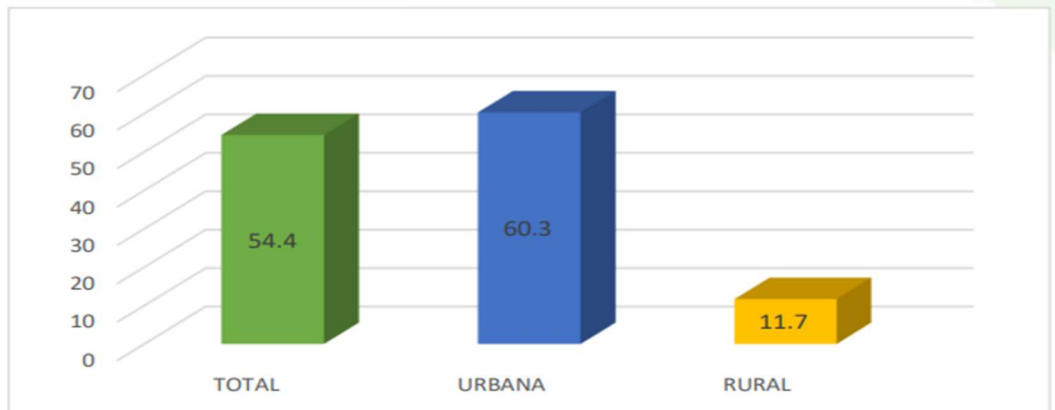
1. Propuesta de modelo de conectividad rural mediante red híbrida FO–RF

1.1 Formulación del problema

En Colombia, a pesar de los avances en infraestructura digital, persiste una marcada brecha de conectividad entre las zonas urbanas y rurales. Según datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística, únicamente el 36 % de los hogares rurales contaban con acceso a internet fijo o móvil, frente al 73 % en áreas urbanas, lo que evidencia una profunda desigualdad en el acceso a servicios digitales [2]. Esta disparidad limita el desarrollo de competencias digitales, restringe el acceso a servicios de educación y salud, reduce la participación en mercados digitales y perpetúa condiciones de vulnerabilidad social y económica.

La vereda Chocoita, ubicada en el municipio de Girón (Santander), constituye un caso representativo de esta problemática. Se trata de una comunidad con topografía irregular, caminos de difícil acceso y sin cobertura confiable de internet fijo ni móvil. Esta exclusión digital ha restringido durante años las oportunidades de formación virtual, atención médica en línea, comercio electrónico y comunicación con otras regiones del país (véase Figura 1).

Figura 1. Porcentaje de viviendas ocupadas con personas presentes que tienen acceso a servicio de internet en Colombia, 2018



Nota: la información corresponde a datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística [2].

Los operadores tradicionales no han mostrado interés en desplegar redes en este territorio, principalmente por la baja densidad poblacional y los altos costos de instalación, lo que convierte el sector en un mercado poco rentable. En consecuencia, no existe infraestructura troncal cercana, la red de soporte es limitada, el terreno dificulta los enlaces por la línea de vista y el costo por usuario conectado resulta elevado. A esto se suma la ausencia de iniciativas estatales o privadas que promuevan soluciones alternativas adaptadas a la realidad local [3], [4].

Frente a este panorama, surge la necesidad de diseñar un modelo innovador que supere las barreras económicas, técnicas y geográficas. En este contexto, se propone la implementación de una red híbrida que combine radiofrecuencia (RF) para el transporte troncal desde Palogordo y fibra óptica aérea para la distribución local dentro de la vereda [4]. Este enfoque aprovecha infraestructura existente (como los postes de la empresa Iluminación San Juan de Girón en convenio con la Alcaldía) y reduce los costos mediante enlaces inalámbricos en los tramos donde el tendido físico no es viable.

En este marco, las preguntas de investigación se plantean de la siguiente manera:

- ¿Cuál es el modelo de red más efectivo para zonas rurales con baja densidad poblacional y limitada rentabilidad comercial?
- ¿Qué tecnologías pueden garantizar sostenibilidad técnica, económica y operativa en este contexto?
- ¿Cómo se puede implementar una solución escalable y replicable en otras comunidades rurales del país?
- ¿Qué impacto tiene la conectividad digital en el desarrollo educativo, social y económico de la comunidad beneficiada?

De esta manera, la formulación del problema permite delimitar objetivos concretos y soluciones técnicas viables, con miras a reducir la brecha digital y garantizar el acceso universal a internet como motor de desarrollo sostenible e inclusivo en territorios históricamente marginados [1], [9].

1.2 Objetivos

1.2.1 . Objetivo general

Diseñar una red híbrida de telecomunicaciones basada en radiofrecuencia y fibra óptica mediante la integración de lineamientos internacionales, nacionales y locales sobre inclusión digital, con el fin de proporcionar conectividad estable y sostenible en la vereda Chocoita del municipio de Girón (Santander), acorde con las condiciones técnicas, geográficas y socioeconómicas del territorio [4], [5].

1.2.2 . *Objetivos específicos*

- Diagnosticar el estado actual de la infraestructura y las condiciones de conectividad de la vereda Chocoita, con el propósito de identificar las limitaciones técnicas, geográficas y sociales que afectan la prestación del servicio.
- Estructurar la arquitectura del modelo híbrido de telecomunicaciones mediante la definición de la topología, los componentes tecnológicos y los parámetros operativos que permitan asegurar estabilidad, cobertura y capacidad de expansión [4], [10].
- Evaluar la viabilidad técnica, operativa y normativa del diseño propuesto a través de estimaciones de desempeño, verificación de cumplimiento regulatorio y análisis de su potencial de replicabilidad en otras zonas rurales del municipio de Girón [6], [7], [8].

1.3 Justificación

El acceso a internet se ha consolidado como un servicio esencial para la participación en la sociedad contemporánea, comparable en importancia a los servicios públicos tradicionales. Sin embargo, comunidades rurales como la vereda Chocoita, en el municipio de Girón (Santander), permanecen desconectadas debido a factores geográficos, técnicos y económicos. Esta exclusión digital restringe el acceso a la educación virtual, limita la productividad, dificulta la atención médica a distancia y frena el desarrollo comunitario, profundizando la brecha social y económica respecto a las zonas urbanas [1].

La problemática de conectividad en Chocoita responde a condiciones estructurales: inexistencia de redes de acceso de banda ancha, cobertura móvil deficiente, topografía compleja y

costos logísticos elevados que han desincentivado la inversión de los operadores tradicionales. En este contexto, se hace necesario diseñar un modelo alternativo que permita superar estas barreras y garantizar el derecho fundamental a la conectividad [3].

El presente proyecto se justifica por múltiples razones:

Técnicas: La conectividad rural enfrenta condiciones de difícil acceso geográfico, baja densidad poblacional y limitada infraestructura de telecomunicaciones, lo que hace inviable la inversión de operadores tradicionales. Ante esta situación, el proyecto se justifica como una alternativa viable al proponer un modelo adaptado a las condiciones del territorio [4].

Sociales: El impacto social del proyecto es significativo, ya que la conectividad contribuye directamente a la mejora de la calidad de vida de los habitantes. Permite a los estudiantes acceder a programas de educación virtual, capacitaciones técnicas y plataformas de aprendizaje en línea. En materia de salud, facilita la telemedicina y el acceso a consultas médicas remotas, aspecto crucial en comunidades alejadas de centros urbanos. Además, fortalece los lazos comunitarios mediante canales de comunicación más efectivos, promueve la inclusión digital de adultos mayores y facilita la interacción con instituciones estatales para realizar trámites en línea sin necesidad de desplazamientos largos y costosos [1].

Económica: Desde una perspectiva económica, la conectividad permite llevar el servicio a comunidades con recursos limitados sin generar inversiones desproporcionadas. Abre nuevas oportunidades de emprendimiento digital, comercio electrónico, capacitación en oficios en línea y acceso a programas de apoyo económico del Estado. Asimismo, incrementa la competitividad local al integrar a la comunidad en mercados digitales más amplios, favoreciendo el desarrollo de actividades productivas como la agricultura, el turismo rural y los servicios comunitarios. De igual

forma, el proyecto puede atraer futuras inversiones en telecomunicaciones al demostrar que existen soluciones viables en territorios de baja rentabilidad comercial [3].

Académicas: En el ámbito académico, este proyecto representa un espacio valioso de aplicación práctica de los conocimientos adquiridos en el campo de las telecomunicaciones. Involucra diseño, instalación y validación de redes de acceso, permitiendo aplicar conceptos relacionados con fibra óptica, radioenlaces, administración de red y energías renovables. Además, aporta material de referencia para futuros proyectos de grado e investigaciones relacionadas con conectividad rural, fortaleciendo tanto el conocimiento institucional como el académico en general [10].

Además, este proyecto responde a lineamientos nacionales e internacionales en materia de inclusión digital, alineándose con los objetivos del Ministerio TIC y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, específicamente en la meta de garantizar acceso universal a las tecnologías de la información y la comunicación [5], [1].

Por su carácter replicable, esta propuesta puede extenderse a otras veredas del municipio de Girón y a comunidades rurales de Santander, convirtiéndose en un modelo aplicable a contextos similares. De esta manera, el proyecto no solo atiende una necesidad local inmediata, sino que también aporta al cierre de la brecha digital en zonas históricamente marginadas, demostrando que es posible generar soluciones sostenibles con impacto social, económico y académico [1], [3].

Aplicaciones críticas que justifican la interconexión mediante fibra óptica y proyección de expansión futura: la interconexión mediante fibra óptica resulta indispensable para garantizar servicios que demandan alta capacidad, estabilidad y baja latencia, especialmente en contextos rurales donde las soluciones exclusivamente inalámbricas presentan limitaciones técnicas [11]. En la vereda Chocoita, una de las principales actividades que justifica el uso de fibra óptica es la

educación virtual, dado que los estudiantes requieren acceso continuo a plataformas de videoconferencia, aulas virtuales, contenidos multimedia y evaluaciones en línea, los cuales no pueden ser soportados de manera confiable por enlaces de baja capacidad.

Adicionalmente, la conectividad por fibra óptica permite habilitar servicios de telemedicina básica, tales como consultas remotas, transmisión de imágenes clínicas y acceso a plataformas de información en salud, reduciendo la necesidad de desplazamientos hacia centros urbanos. En el ámbito productivo, la red facilita el desarrollo de actividades agroindustriales mediante el acceso a plataformas de comercialización digital, capacitación técnica en línea y, a futuro, la implementación de soluciones de monitoreo agrícola e Internet de las Cosas (IoT).

El diseño de la red híbrida FO–RF contempla, además, la posibilidad de interconectar otras veredas cercanas en un futuro próximo, aprovechando la arquitectura GPON y la capacidad de expansión del enlace troncal. Esta característica permite replicar el modelo sin rediseñar la infraestructura principal, convirtiendo la solución en una alternativa escalable y sostenible para la expansión de la conectividad rural en el municipio de Girón y zonas aledañas.

2. Marco referencial

El acceso a internet en zonas rurales es un desafío reconocido globalmente, tanto por los organismos internacionales como por las instituciones nacionales responsables de la formulación de políticas públicas. La literatura especializada señala que la conectividad constituye un factor determinante para el desarrollo social, educativo y económico, especialmente en territorios con rezagos estructurales [1], [3]. En este sentido, el proyecto se sustenta en tres niveles de referencia:

internacional, nacional y local, articulando lineamientos técnicos y normativos con la realidad territorial de la vereda Chocoita, en el municipio de Girón.

2.1 Marco teórico

2.1.1 Ámbito internacional

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y la OCDE coinciden en que la brecha de conectividad rural en países en desarrollo es consecuencia de tres factores críticos: altos costos de despliegue, baja rentabilidad comercial y ausencia de infraestructura troncal. La UIT recomienda la adopción de arquitecturas híbridas FO–RF para superar obstáculos topográficos y aumentar la cobertura en zonas dispersas [4]. La OCDE añade que los modelos basados en enlaces inalámbricos más fibra reducen hasta un 40% los costos operativos en territorios rurales, manteniendo estándares de calidad comparables a redes urbanas [3].

Estas recomendaciones internacionales respaldan la elección del modelo híbrido implementado en Palogordo–Chocoita, donde la topografía, la dispersión poblacional y la ausencia de operadores tradicionales hacen inviable un modelo puramente óptico o exclusivamente inalámbrico.

2.1.2 Ámbito nacional

En Colombia, la modernización del sector TIC se rige por la Ley 1341 de 2009, la Ley 1978 de 2019 y la Ley 2108 de 2021, que reconoce el acceso a internet como derecho fundamental

[6]. La CRC, mediante la Resolución 5050 de 2016, establece parámetros técnicos de instalación, operación y calidad del servicio, exigiendo niveles mínimos de disponibilidad, atenuación y continuidad [5].

Los informes del MinTIC evidencian que los operadores no despliegan infraestructura en zonas con baja densidad poblacional, lo que deja a territorios como Chocoita en vulnerabilidad digital. Este marco normativo impulsa proyectos de carácter social y técnico como el desarrollado, que cumple estándares CRC y responde a las metas de acceso universal planteadas por el Estado colombiano [5].

2.1.3 Ámbito local

En el municipio de Girón, la vereda Chocoita presenta una combinación de factores que profundizan la brecha digital: topografía irregular, escasez de infraestructura pública de telecomunicaciones, baja densidad poblacional y limitaciones financieras de los hogares [2]. Adicionalmente, la cobertura móvil es inestable en amplios sectores de la vereda, lo que reduce las posibilidades de conectividad incluso mediante tecnologías celulares.

En términos administrativos, Girón opera parte de su infraestructura de postes a través de la concesión de Iluminación San Juan, lo que afecta la disponibilidad de soportes para el despliegue de redes. Sin embargo, este mismo convenio permite la gestión de autorizaciones locales para utilizar infraestructura existente, optimizando costos y reduciendo tiempos de instalación cuando se articula con actores del territorio.

El diagnóstico social realizado en campo evidenció la necesidad de una solución que no solo mejore la conectividad, sino que abra oportunidades educativas, productivas y comunitarias.

La escuela rural, los productores agrícolas y los hogares dispersos requieren acceso estable a plataformas digitales para trámites, educación virtual, comercio básico y comunicación con zonas urbanas del área metropolitana de Bucaramanga. Esta realidad local constituye el fundamento más inmediato del proyecto y orienta la pertinencia de la solución híbrida propuesta.

El proyecto resulta pertinente porque responde simultáneamente a directrices internacionales de inclusión digital, políticas nacionales de obligatoriedad del acceso a internet y necesidades concretas de la comunidad de Chocoita [1],[5]. La adopción de un modelo híbrido basado en radiofrecuencia y fibra óptica permite superar limitaciones geográficas y económicas características del territorio, integrando estándares de calidad, confiabilidad y escalabilidad.

Además, su enfoque territorial ajustado a las dinámicas locales asegura la viabilidad técnica y social de la implementación, al tiempo que ofrece un modelo replicable para otras veredas de Girón y municipios rurales del departamento de Santander [3].

2.1.4 Radiofrecuencia

La radiofrecuencia (RF) es una tecnología de transmisión inalámbrica que utiliza ondas electromagnéticas para transportar información a través del aire. Se emplea en el proyecto como medio de enlace troncal en zonas donde el despliegue físico de la fibra óptica resulta inviable o de alto costo, actuando como base de la arquitectura híbrida que conecta los nodos principales de la red. La radiofrecuencia complementa la fibra óptica en zonas donde el tendido físico es inviable o de alto costo. Se utiliza principalmente en enlaces troncales y en el acceso a comunidades apartadas [11].

La transmisión de radiofrecuencia opera en bandas como 2.4 GHz, 5 GHz o 60 GHz, según las condiciones topográficas y los requerimientos de alcance y capacidad. Las señales viajan en línea de vista, lo que implica una planificación cuidadosa de alturas, distancias y obstáculos naturales.

Ventajas de la radiofrecuencia:

- Cobertura flexible. Permite salvar obstáculos geográficos como ríos o montañas.
- Menor costo de despliegue. Requiere menos infraestructura física que el tendido subterráneo.
- Rapidez de implementación. Facilita la expansión del servicio en comunidades con difícil acceso vial.

Componentes principales de los sistemas RF:

- Antenas parabólicas o direccionales. Transmiten y reciben señales en frecuencias específicas.
- Radios punto a punto (PtP). Establecen enlaces dedicados entre dos estaciones.
- Radios punto multipunto (PtMP). Distribuyen la señal hacia varias estaciones receptoras.
- Torre o mástil de soporte. Estructura que sostiene las antenas en altura para mejorar la línea de vista.

2.1.4.1 Arquitectura de red de radiofrecuencia. La arquitectura RF se compone de dos configuraciones principales:

- Enlace punto a punto (PtP): conecta dos estaciones mediante antenas direccionales o parabólicas, garantizando una comunicación dedicada de alta capacidad.

- Enlace punto a multipunto (PtMP): distribuye la señal desde una estación base hacia varias receptoras en diferentes direcciones, optimizando recursos en zonas rurales [11].

En el proyecto, la radiofrecuencia se integra con la red GPON, formando una red híbrida en la que la RF cumple la función de transporte troncal, y la fibra óptica asume la distribución local del servicio.

2.1.4.2 Equipos y especificaciones técnicas.

- Antenas Ubiquiti LiteBeam AC Gen2 (5 GHz): ideales para enlaces troncales de hasta 20 km, con ganancia de 23 dBi y tecnología airMAX.
- Radios Mikrotik NetMetal 5: configurados como nodos principales bajo protocolo NV2 TDMA, optimizando la eficiencia espectral y reduciendo la latencia.
- Router Mikrotik CCR1009: gestiona el enrutamiento, la asignación de IPs y el balanceo de carga entre los segmentos ópticos y de radio.
- Torre metálica autosoportada de 18 metros: estructura con sistema de energía autónoma basada en paneles solares y baterías de litio.

2.1.4.3 Arquitectura de red híbrida. Una red híbrida de telecomunicaciones integra dos tecnologías principales: fibra óptica y radiofrecuencia (RF). La combinación de ambas permite aprovechar las ventajas de cada una y mitigar sus limitaciones en entornos rurales, La fibra óptica es el medio de transmisión más eficiente para redes de alta capacidad [12], [13]. Sus características principales son:

- Alta velocidad y ancho de banda. Capacidad para transmitir grandes volúmenes de datos con mínima latencia.

- Confiabilidad. Menor susceptibilidad a interferencias electromagnéticas y ambientales.
- Escalabilidad. Posibilidad de ampliar la red mediante divisores ópticos (*splitters*) y empalmes.
 - Componentes clave de la red de fibra óptica:
 - OLT (Optical Line Terminal). Equipo ubicado en la central que administra la red óptica pasiva.
 - ONUs (Optical Network Units). Dispositivos instalados en los hogares o puntos de acceso que convierten la señal óptica en eléctrica para su uso.
 - ODF (Optical Distribution Frame). Bastidor de distribución que organiza y gestiona las fibras.
 - Splitters ópticos. Permiten dividir una señal óptica en múltiples trayectorias para atender a varios usuarios.
 - Empalmes y cajas de distribución. Facilitan la interconexión y ramificación de la red en diferentes puntos de la comunidad [14].

2.1.4.4 Modelo híbrido aplicado a zonas rurales. El modelo híbrido combina la fibra óptica como troncal principal (garantizando ancho de banda, calidad y estabilidad) con la radiofrecuencia como solución complementaria para cubrir áreas críticas donde el despliegue físico resulta complejo o costoso.

Este enfoque aprovecha la infraestructura existente, reduce costos operativos y permite ofrecer un servicio confiable y escalable en comunidades rurales dispersas [13]. Además, constituye una alternativa replicable en contextos similares, alineada con los principios de inclusión digital y equidad social [1].

2.2 Marco Conceptual

El marco conceptual del presente proyecto integra de manera articulada los fundamentos técnicos asociados a la migración de redes, las tecnologías de radiofrecuencia, la fibra óptica, la arquitectura GPON y la convergencia de servicios en redes híbridas FO–RF, desarrollados desde una perspectiva aplicada al diseño, implementación y operación del sistema de conectividad rural entre Palogordo y la vereda Chocoita. Este apartado abandona un enfoque definitorio tipo glosario y desarrolla los conceptos en función de su rol dentro de la red implementada, incorporando criterios de calidad de servicio (QoS), parámetros de configuración y gestión operativa de los equipos terminales y de red.

2.2.1 Migración de redes

La migración de redes, en el contexto del proyecto, se entiende como el proceso técnico y operativo mediante el cual una zona rural con conectividad inexistente o limitada evoluciona hacia una infraestructura de telecomunicaciones moderna, capaz de soportar servicios digitales de manera estable, escalable y sostenible. Esta migración no se plantea como una sustitución abrupta de tecnologías, sino como una transición progresiva que integra soluciones inalámbricas y ópticas, permitiendo una adaptación gradual a las condiciones geográficas, económicas y sociales del territorio.

En la red híbrida FO–RF implementada, la migración de redes se materializa mediante la incorporación de un enlace troncal de radiofrecuencia que garantiza

conectividad inicial y continuidad del servicio, combinado con una red de distribución basada en fibra óptica aérea. Esta estrategia permite mejorar progresivamente la calidad del servicio, facilitar la expansión futura de la infraestructura y asegurar la interoperabilidad entre tecnologías, sin comprometer la operación del sistema ni la experiencia del usuario final.

2.2.2 Modelos de migración

Los modelos de migración de redes definen las estrategias técnicas empleadas para introducir nuevas tecnologías dentro de una infraestructura existente o inexistente. En el proyecto se adopta un modelo de migración híbrido que combina características de los enfoques Greenfield y Brownfield [13]. Por un lado, se implementan nuevos tramos de fibra óptica y enlaces de radiofrecuencia en sectores donde no existía infraestructura previa; por otro, se aprovechan recursos existentes como postes, estructuras de soporte y corredores de paso disponibles en la zona.

Este modelo híbrido resulta especialmente adecuado para entornos rurales, ya que optimiza costos de despliegue, reduce tiempos de implementación y permite una expansión progresiva de la red conforme aumenta la demanda. Asimismo, evita la necesidad de una migración tipo Big Bang, la cual implicaría altos costos iniciales y riesgos operativos, y facilita la incorporación de nuevos usuarios y servicios sin rediseñar la arquitectura troncal.

2.2.3 *Tecnologías de fibra óptica*

La fibra óptica es un medio de transmisión que utiliza pulsos de luz para transportar información a alta velocidad a través de hilos de vidrio o plástico [14]. Su estructura se compone de tres partes: núcleo (core), que actúa como canal de propagación de la señal luminosa; revestimiento (cladding), que refleja la luz hacia el interior del núcleo mediante el principio de reflexión interna total; y recubrimiento (coating), que brinda protección externa frente a daños físicos y ambientales. Estas características convierten a la fibra óptica en un medio idóneo para redes de acceso y distribución, debido a su alta capacidad de transmisión, resistencia a interferencias electromagnéticas y baja atenuación en comparación con medios metálicos.

En el contexto del proyecto, la fibra óptica se selecciona como tecnología de distribución local del servicio por su capacidad de soportar simultáneamente múltiples usuarios y servicios, manteniendo estabilidad en variables críticas como latencia y throughput. Sin embargo, su desempeño real depende de factores técnicos que deben considerarse desde el diseño e implementación. Entre ellos se encuentra la atenuación propia de la fibra (pérdida por kilómetro), la cual se incrementa por pérdidas adicionales asociadas a empalmes por fusión, conectores, acoplamientos y eventos de curvatura (micro curvaturas o macro-curvaturas) producto del tendido y la sujeción en infraestructura aérea.

Adicionalmente, en redes de acceso punto a multipunto, la distribución óptica incorpora elementos pasivos como splitters, los cuales introducen pérdidas de inserción que deben ser consideradas para garantizar niveles adecuados de potencia óptica en el extremo del usuario. Por lo anterior, el despliegue de la fibra óptica en el proyecto requiere

un enfoque basado en el presupuesto óptico, entendido como el balance entre la potencia transmitida, las pérdidas totales del trayecto (fibra, empalmes, conectores y splitters) y un margen de seguridad que permita compensar variaciones por envejecimiento de componentes, deterioro ambiental o ajustes de mantenimiento.

En consecuencia, la fibra óptica no se aborda únicamente como un medio de alta capacidad, sino como una tecnología cuyo desempeño depende de decisiones de diseño y de la calidad del tendido e instalación. La correcta gestión de estos factores garantiza un servicio estable y escalable en entornos rurales, donde se requiere infraestructura confiable, con bajo mantenimiento y capacidad de expansión futura.

2.2.4 Equipos terminales, infraestructura pasiva y parámetros de configuración

En la red híbrida FO–RF implementada se emplean equipos activos y componentes pasivos que cumplen funciones específicas dentro de la arquitectura de acceso y distribución del servicio. La selección de estos dispositivos responde a criterios de capacidad, compatibilidad normativa, escalabilidad y desempeño, de acuerdo con los requerimientos técnicos del proyecto.

Como equipo central de la red de acceso óptico se utiliza una OLT Huawei MA5800-X15 [15], la cual permite capacidades de transmisión de hasta 10 Gbps por puerto y es compatible con los estándares ITU-T G.984 y G.987. Este equipo cumple la función de gestionar el tráfico descendente y ascendente de la red GPON, asignar perfiles de velocidad a los usuarios y controlar el acceso a los recursos de red, constituyéndose como el punto neurálgico de la infraestructura de fibra óptica.

En el extremo del usuario se emplean ONUs Huawei HG8546M [16], las cuales integran interfaces Ethernet y conectividad Wi-Fi, permitiendo la distribución local del servicio dentro de cada vivienda o punto de acceso. Estas ONUs reciben la señal óptica proveniente de la OLT, la convierten a señales eléctricas y gestionan el tráfico de datos hacia los dispositivos finales, de acuerdo con los perfiles de usuario y políticas de calidad de servicio configuradas en la red.

La distribución de la señal óptica se realiza mediante splitters PLC con relaciones de división 1:8 y 1:16, los cuales presentan pérdidas de inserción inferiores a 3.5 dB. Estos componentes pasivos permiten implementar una topología punto a multipunto eficiente, optimizando el uso de la fibra óptica y facilitando la expansión del número de usuarios sin necesidad de incorporar equipos activos intermedios. La selección del factor de división se realiza considerando el presupuesto óptico disponible y la proyección de crecimiento de la red.

La infraestructura pasiva de la red incluye muflas con grado de protección IP68 y cajas de distribución, utilizadas para la realización de empalmes y derivaciones de la fibra óptica, garantizando protección frente a condiciones ambientales adversas propias del entorno rural. Asimismo, se emplea un rack estándar de 19 pulgadas con un ODF modular, el cual permite la organización, gestión y protección de las fibras ópticas mediante bandejas de fusión, facilitando labores de mantenimiento, identificación de enlaces y futuras ampliaciones de la red.

Desde el punto de vista de configuración, los equipos activos de la red se parametrizan considerando variables técnicas que influyen directamente en el desempeño del sistema. Entre estos parámetros se incluyen la asignación de perfiles de velocidad de subida y bajada, la gestión del ancho de banda por usuario, el control del tráfico y la aplicación de políticas de

calidad de servicio (QoS). En los enlaces de radiofrecuencia se configuran adicionalmente parámetros como potencia de transmisión, ancho de canal y modulación, mientras que en la red óptica se consideran los niveles de potencia de transmisión y recepción, asegurando su compatibilidad con el presupuesto óptico calculado.

La correcta selección y configuración de los equipos activos y pasivos permite garantizar métricas de operación adecuadas, tales como throughput, latencia, jitter y estabilidad del enlace, asegurando que la red híbrida FO–RF pueda soportar los servicios previstos y operar de manera confiable en el contexto rural del proyecto.

2.2.5 Convergencia tecnología FO + RF

La convergencia tecnológica entre fibra óptica (FO) y radiofrecuencia (RF) constituye una estrategia clave para la expansión de la conectividad en zonas rurales, donde las condiciones geográficas, económicas y de infraestructura limitan el despliegue exclusivo de redes cableadas. Esta convergencia permite integrar las ventajas de la fibra óptica, caracterizada por su alta capacidad, estabilidad y baja latencia, con la flexibilidad y rapidez de implementación que ofrecen los enlaces inalámbricos, logrando una solución híbrida eficiente y adaptable al entorno, [13].

En el marco del proyecto, la fibra óptica se emplea como medio troncal y de distribución local, garantizando una transmisión confiable de grandes volúmenes de información y sirviendo como base para la prestación de servicios de telecomunicaciones. Por su parte, la tecnología RF se utiliza como complemento para cubrir tramos donde el tendido de fibra resulta técnica o económicamente inviable, permitiendo superar barreras físicas y extender la cobertura hacia zonas

de difícil acceso. Esta integración FO + RF posibilita el diseño de una red híbrida que responde a las necesidades actuales de conectividad y facilita la expansión futura del sistema.

Dentro de esta arquitectura convergente, las redes ópticas pasivas (PON, Passive Optical Network) desempeñan un papel fundamental en la distribución del servicio [14]. Las tecnologías PON se caracterizan por el uso de componentes pasivos entre el nodo central y los usuarios finales, lo que reduce los costos operativos y simplifica las labores de mantenimiento. Sin embargo, las implementaciones PON tradicionales presentan limitaciones en términos de velocidad, gestión del ancho de banda y escalabilidad, aspectos que resultan críticos cuando se proyecta el crecimiento progresivo de la red en entornos rurales.

Como evolución de estas arquitecturas, la tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network) incorpora mayores capacidades de transmisión y mecanismos avanzados de gestión del tráfico. GPON permite velocidades de hasta 2,5 Gbps en sentido descendente y 1,25 Gbps en sentido ascendente, así como la priorización de servicios mediante políticas de calidad de servicio (QoS), lo que posibilita la prestación simultánea de servicios de datos, voz y video. Estas características hacen que GPON sea especialmente adecuada para escenarios rurales donde se requiere una solución escalable, estable y preparada para el aumento progresivo de usuarios y servicios [17].

2.3 Marco normativo y contextual

En Colombia, la política pública de conectividad está regulada por diferentes leyes y lineamientos que han evolucionado a lo largo de los últimos años:

- Ley 1341 de 2009. Define principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). Establece el acceso a internet como un servicio público esencial [7].
- Ley 1978 de 2019. Moderniza el sector TIC, crea la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC) como única entidad reguladora y promueve la inversión en infraestructura de telecomunicaciones [8].
- Ley 2108 de 2021. Reconoce el acceso a internet como un derecho fundamental en Colombia, obligando al Estado a garantizar la conectividad en todos los territorios [9].
- Resolución CRC 5050 de 2016. Regula aspectos técnicos para la instalación y operación de redes de telecomunicaciones, incluyendo lineamientos de calidad en la prestación del servicio [6].

Estos marcos normativos proporcionan la base legal y regulatoria para el desarrollo de proyectos de conectividad rural, asegurando que las iniciativas cumplan con los estándares nacionales y promuevan la inclusión digital.

3. Metodología

La metodología adoptada corresponde a un enfoque secuencial que articula diagnóstico, diseño, validación técnica y preparación para la implementación, garantizando coherencia con los objetivos planteados y con las condiciones operativas del proyecto. Este enfoque permite organizar el proceso de desarrollo de la solución híbrida bajo criterios de rigor técnico, trazabilidad y pertinencia territorial.

3.1 Enfoque general

El proyecto se estructura bajo un esquema metodológico de carácter técnico–aplicado, que combina levantamiento de información en campo, análisis de condiciones geográficas y sociales, diseño de arquitectura de red, evaluación normativa y validación de la viabilidad técnica. Cada fase responde directamente a los objetivos formulados, asegurando que el diseño de la red se fundamente en evidencia empírica del territorio y en parámetros de ingeniería de telecomunicaciones

3.2 Fases metodológicas

La metodología aplicada en este proyecto se desarrolló de manera progresiva, combinando actividades de campo, criterios técnicos y decisiones operativas ajustadas a las particularidades de la vereda Chocoita. Cada fase se articuló con los objetivos propuestos y con las condiciones reales del territorio, lo que permitió avanzar desde la comprensión inicial del entorno hasta la validación técnica del diseño final.

- Fase 1. Caracterización del territorio: el proceso inició con visitas de reconocimiento y revisión de la información disponible sobre la zona. Se verificaron las condiciones del terreno, la altura de los puntos críticos, los tramos con línea de vista favorable y la infraestructura existente, especialmente los postes administrados por Iluminación San Juan. Durante estas salidas también se identificaron sectores donde sería inevitable instalar postes adicionales para garantizar continuidad en el tendido aéreo. Asimismo, se evaluó la cobertura móvil, que resultó insuficiente para ofrecer un servicio estable, y se recopilaron los datos necesarios para avanzar hacia el diseño.

- Fase 2. Revisión normativa y técnica: antes de definir la arquitectura de la red, se revisaron las normas técnicas del MinTIC y la CRC, junto con recomendaciones de la UIT para zonas rurales [5], [6], [4]. Este análisis permitió definir los límites de potencia, los criterios de instalación aérea, las distancias admisibles para fibra óptica y las consideraciones propias de los enlaces por radiofrecuencia. Este paso fue clave para asegurar que el modelo propuesto fuera viable no solo desde lo técnico, sino también dentro del marco regulatorio aplicable.
- Fase 3. Diseño de la arquitectura híbrida: con la información del terreno y el marco normativo, se procedió a estructurar el diseño de la red. Aquí se definieron las rutas principales para el tendido y los puntos de distribución, diferenciando los tramos que exigirían fibra de 12, 24 o 48 hilos según la densidad de usuarios. También se estableció la ubicación de muflas, cajas de empalme y derivación, así como el rack principal donde se organizarían el ODF, los splitters y el equipo OLT. En paralelo, se diseñó la troncal inalámbrica entre Palogordo y Chocoita. Este componente requirió ubicar la torre metálica de 18 metros en un punto estratégico, seleccionar antenas troncales/sectoriales y determinar los radios adecuados (Mikrotik y LiteBeam) según las distancias y la interferencia del entorno.
- Fase 4. Modelación técnica y verificación preliminar: antes de proceder a la instalación, se realizaron cálculos de pérdidas ópticas para estimar el rendimiento del enlace fibra. Estos cálculos incluyeron la longitud total instalada, el número de empalmes y la potencia final en cada ONU. En el caso del enlace inalámbrico, se verificaron la altura efectiva de la torre, las zonas de sombra y la potencia recibida esperada en los radios. Estas simulaciones permitieron ajustar algunos parámetros, especialmente en lo relacionado con la dirección de antenas y los puntos de derivación en el tramo óptico.

- Fase 5. Trabajo operativo, instalación y pruebas: esta fase concentró la ejecución en campo. Con apoyo técnico y aprovechando la infraestructura existente, se instalaron los herrajes, soportes y postes nuevos necesarios para sostener el tendido. La torre de 18 metros se montó con sus sistemas de anclaje y, en paralelo, se integraron los módulos de energía solar autónoma para garantizar el funcionamiento incluso en ausencia de red eléctrica.

El equipo de fibra llevó a cabo el tendido completo de cables de 12, 24 y 48 hilos, junto con las fusiones y empalmes en las muflas establecidas. Se organizaron los splitters y se configuraron los equipos GPON (OLT, ONUs y EDFA). Para los radioenlaces, se instalaron y alinearon las antenas, y se configuraron los radios Mikrotik y LiteBeam según el plan de numeración y direccionamiento diseñado previamente. Finalmente, se realizaron pruebas de velocidad, latencia y estabilidad. Estas pruebas confirmaron el funcionamiento continuo del sistema y la capacidad del modelo para operar de manera confiable en condiciones rurales.

El desarrollo metodológico permitió integrar análisis técnico, trabajo de campo y configuración especializada en un modelo que responde de manera directa a las necesidades reales de la comunidad. La combinación de fibra óptica y radiofrecuencia, junto con la infraestructura instalada, constituye una solución aplicable y replicable en otros sectores rurales con características similares.

4. Plan de trabajo

Tabla 1. Plan de trabajo

Fase	Actividad	Periodo estimado	Responsable principal
Fase 1. Caracterización del territorio	Reconocimiento técnico y levantamiento de información	Semana 1 – 2	Técnico de campo / Coordinación
	Verificación de postes existentes y puntos críticos	Semana 2	Equipo de inspección
	Identificación de tramos con línea de vista y zonas para instalación de nuevos postes	Semana 2	Equipo de inspección
Fase 2. Revisión normativa y técnica	Análisis de lineamientos MinTIC, CRC y UIT	Semana 2 – 3	Ingeniero de telecomunicaciones
	Ajuste del diseño preliminar según criterios normativos	Semana 3	Ingeniero de telecomunicaciones
Fase 3. Diseño de la arquitectura híbrida	Diseño de rutas de fibra (12, 24 y 48 hilos)	Semana 3 – 4	Ingeniero de telecomunicaciones
	Diseño y dimensionamiento de red GPON y radioenlace	Semana 4	Ingeniero de red
	Definición de muflas, ODF, splitters y rack principal	Semana 4	Ingeniero GPON / FO
	Definición de ubicación de torre, antenas y radios (Mikrotik / LiteBeam)	Semana 4	Ingeniero RF
Fase 4. Modelación técnica y verificación preliminar	Cálculo de pérdidas ópticas y potencia final por ONU	Semana 4 – 5	Especialista FO
	Verificación de alturas, zonas de sombra y potencia esperada RF	Semana 5	Ingeniero RF
	Ajustes preliminares del diseño final	Semana 5	Equipo técnico
Fase 5. Trabajo operativo, instalación y pruebas	Instalación de postes adicionales y herrajes	Semana 5 – 6	Cuadrilla de infraestructura
	Montaje de torre metálica de 18 m	Semana 6	Equipo estructural
	Tendido de fibra óptica	Semana 7 – 8	Técnicos FO
	Fusiones, empalmes y organización en ODF / NAP	Semana 8 – 9	Especialistas FO

Fase	Actividad	Periodo estimado	Responsable principal
	Instalación de splitters, muflas y equipos GPON	Semana 9	Ingeniero GPON
	Configuración de OLT, ONUs y EDFA	Semana 10	Ingeniero de red
	Instalación de antenas troncales y sectoriales	Semana 10 – 11	Técnico RF
	Configuración de radios Mikrotik y LiteBeam	Semana 11	Ingeniero RF
	Integración del sistema de energía solar	Semana 11 – 12	Técnico energético
	Pruebas de potencia óptica, velocidad y latencia	Semana 12	Equipo técnico
	Ajustes finales de alineación y parámetros	Semana 13	Ingeniero RF / FO
	Capacitación a usuarios y documentación final	Semana 14	Coordinación del proyecto
	Validación y entrega final del proyecto	Semana 15	Comité técnico

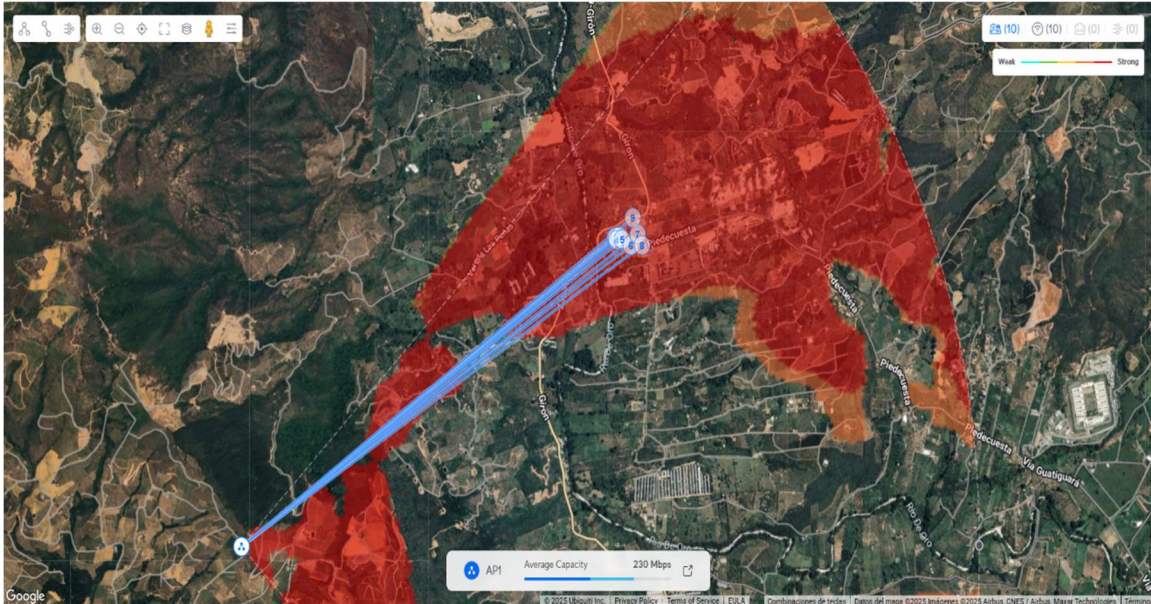
Nota: la duración de las fases se expresa en semanas calendario.

5. Desarrollo del proyecto

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo siguiendo las fases definidas en la metodología, integrando actividades de campo, modelación técnica, instalación física y validación operativa del sistema híbrido FO + RF. A continuación se describen de manera detallada las etapas, hallazgos, procedimientos y resultados obtenidos durante la ejecución.

El proceso inicial consistió en la caracterización topológica del terreno y la identificación de condiciones técnicas que determinarían la viabilidad del proyecto. Se realizó un estudio de topología mediante recorridos de campo, imágenes satelitales y herramientas de georreferenciación, con el fin de analizar la línea de vista entre estaciones y definir las zonas con obstrucciones naturales que podrían afectar la transmisión por radiofrecuencia. (véase Figura 2).

Figura 2. Proyección de línea de vista (LoS) y zonas de sombra entre Palogordo y Chocoita mediante análisis geográfico



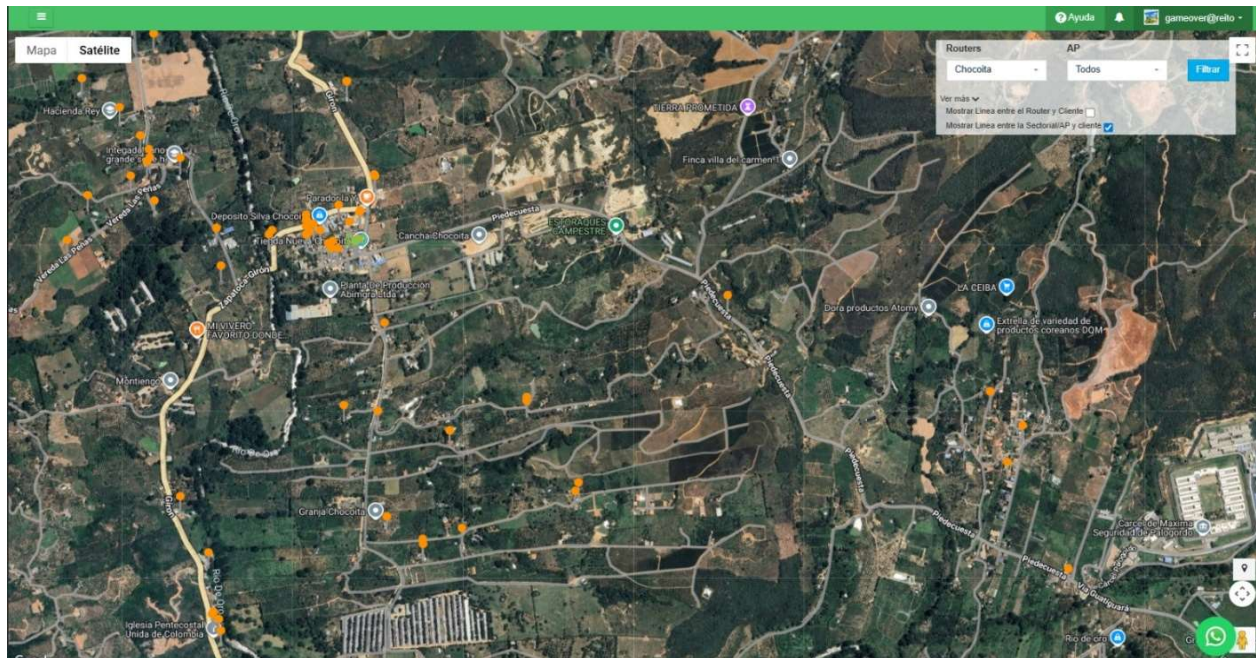
Nota: la simulación se realizó utilizando la herramienta airLink™ de Ubiquiti Networks y datos cartográficos de Google Earth.

5.1 Levantamiento topográfico y caracterización técnica del territorio

La primera etapa consistió en el análisis detallado de las condiciones geográficas, estructurales y tecnológicas del corredor Palogordo – Chocoita. Se aplicaron técnicas de reconocimiento topológico apoyadas por:

- Recorridos de campo
- Análisis satelital mediante Google Earth Pro
- Evaluación de línea de vista (LoS)
- Trazado preliminar con herramientas GIS

Figura 3. Plano topográfico del corredor Palogordo–Chocoita con nodos de fibra óptica existentes



Nota: la información cartográfica corresponde a datos de Google Earth Pro.

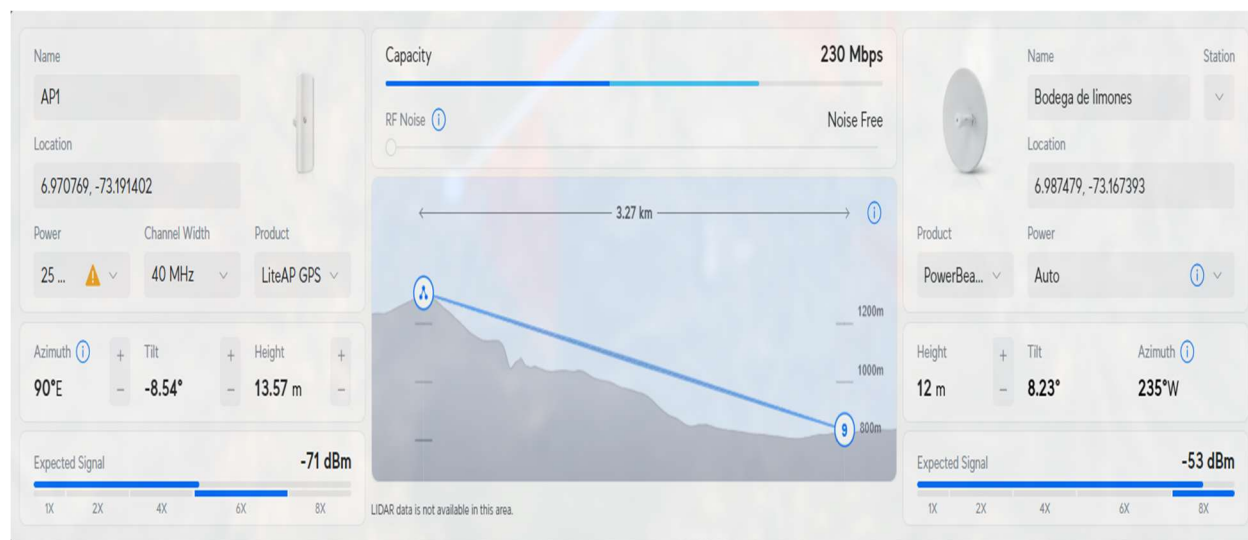
La Figura 3 presenta una vista satelital general del corredor Palogordo–Chocoita, en la cual se identifican los principales puntos de presencia de red y la dispersión geográfica de los usuarios. Este análisis permitió reconocer la distribución espacial del servicio, las zonas con cobertura existente y las áreas que requieren procesos de migración tecnológica, constituyendo un insumo clave para el diseño de la arquitectura de red propuesta.

El objetivo fue determinar:

- Distancias reales entre puntos críticos.
- Elevación y curvas de nivel.
- Sectores con obstrucciones por relieve o vegetación.
- Posibilidad de instalar postes adicionales.
- Disponibilidad de postes de la concesión Iluminación San Juan de Girón.

Este análisis permitió obtener una proyección precisa de la viabilidad del enlace de radiofrecuencia entre Palogordo y Chocoita, así como la identificación de los trayectos más adecuados para el tendido de fibra óptica aérea.

Figura 4. Estudio de topología y línea de vista de estaciones mediante análisis de campo y proyección geográfica.



Nota: la simulación se realizó utilizando la herramienta airLink™ de Ubiquiti Networks.

5.2 Diagnóstico de infraestructura existente

Se realizó un inventario técnico que incluyó:

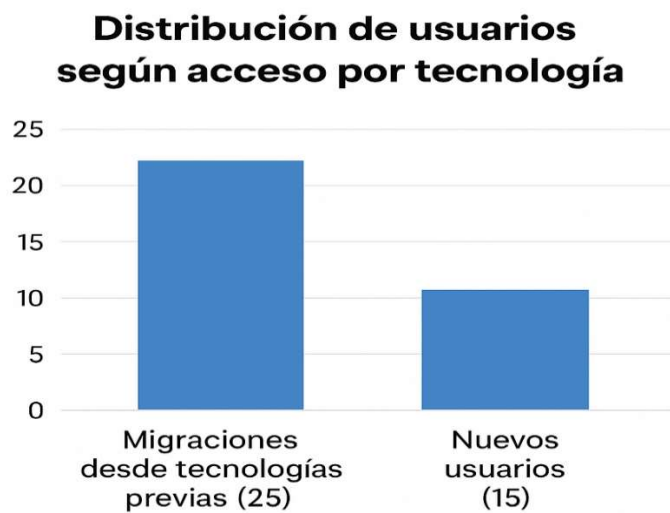
- Postes metálicos y de concreto disponibles.
- Estado de las redes eléctricas cercanas.
- Alturas útiles para instalación de herrajes.
- Posibilidad de uso compartido de infraestructura bajo convenio.
- Trazado previo de canalizaciones y rutas de acceso.

De igual forma, se verificó que en varios sectores la fibra existente no era suficiente para soportar una troncal GPON, por lo que fue necesario incorporar tramos nuevos con cables de 12, 24 y 48 hilos según el nivel de distribución previsto.

Durante esta fase se identificaron los errores de proyección relacionados con la distancia entre tramos, la altura de las estructuras de soporte y la interferencia por relieve montañoso. Para validar la información, se efectuaron gráficas comparativas de nivel y potencia de señal, así como un levantamiento fotográfico de cada punto de enlace y de los sitios seleccionados para la instalación de postes y antenas.

Asimismo, se elaboró un inventario técnico de equipos y materiales que incluyó antenas, cables de fibra óptica, herrajes, muflas, conectores y dispositivos GPON. Paralelamente, se registró el número de personas interesadas en el servicio, estimando una proyección inicial de 40 usuarios potenciales, base para el dimensionamiento de la red y la distribución de recursos.

Figura 5. *Gráfica de número de usuarios interesados en el servicio de conectividad rural (estimación 40:1)*



Nota: los datos corresponden al escenario de análisis del proyecto.

5.3 Proyección de demanda y estimación de capacidad

El dimensionamiento de la red de acceso constituye un elemento fundamental dentro del desarrollo del presente proyecto, ya que permite garantizar la calidad del servicio, la eficiencia en el uso de los recursos de red y la escalabilidad futura de la infraestructura implementada. Para este fin, se adopta la tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network), ampliamente utilizada en redes de acceso por su capacidad de atender múltiples usuarios mediante una arquitectura pasiva y centralizada [12], [14], [17].

El análisis de dimensionamiento se realiza considerando parámetros reales del proyecto, tales como el número de usuarios activos, los planes comerciales ofrecidos, el comportamiento estadístico del tráfico y las capacidades técnicas del puerto GPON, con el propósito de validar la viabilidad del diseño propuesto bajo criterios de ingeniería de telecomunicaciones.

5.3.1 Capacidad del puerto GPON

La tecnología GPON proporciona una capacidad nominal máxima de 2,5 Gbps en sentido descendente (downstream) y 1,25 Gbps en sentido ascendente (upstream) por puerto OLT [17]. Sin embargo, para efectos de diseño responsable y operación estable, no se considera la totalidad de la capacidad nominal, debido a factores como sobrecarga de señalización, eficiencia del protocolo, control de tráfico y márgenes de seguridad [12].

En el presente proyecto se adopta una capacidad efectiva de diseño de 1,2 Gbps por puerto GPON, valor conservador y ampliamente utilizado en despliegues reales, el cual permite realizar cálculos de capacidad más ajustados al comportamiento operativo de la red [17].

5.3.2 *Relación de Split óptico y número de usuarios*

La arquitectura de la red de acceso se basa en el uso de relaciones de división óptica (split) de 1:8 y 1:16, lo cual permite una distribución eficiente del ancho de banda y una adecuada gestión de los recursos de fibra óptica [12]. Estas relaciones facilitan la escalabilidad del sistema y permiten atender una mayor cantidad de usuarios sin requerir modificaciones estructurales significativas en la red troncal.

La capacidad teórica promedio disponible por usuario puede expresarse mediante la relación:

$$\text{Capacidad por usuario} = \frac{\text{Capacidad efectiva del puerto GPON}}{\text{Número de ONUs activas por puerto}}$$

Este criterio permite evaluar preliminarmente la viabilidad del diseño, considerando que el consumo real de los usuarios no es constante ni simultáneo.

5.3.3 *Planes comerciales y perfil de consumo*

El diseño de la red contempla planes comerciales de 200 Mbps, 300 Mbps y 500 Mbps, orientados a usuarios residenciales con requerimientos crecientes de ancho de banda. Para efectos del análisis de capacidad, se adopta un plan promedio ponderado de 300 Mbps, representativo del perfil de consumo predominante en la red.

Es importante destacar que el tráfico en redes de acceso presenta un comportamiento estadístico variable, caracterizado por picos de utilización en determinados periodos del día y

largos intervalos de baja demanda [17]. Esta característica permite aplicar criterios de agregación y sobreescripción controlada sin afectar de manera significativa la experiencia del usuario final.

5.3.4 *Análisis cuantitativo de simultaneidad, capacidad y overbooking*

Para el análisis cuantitativo del tráfico se consideran los siguientes parámetros reales del proyecto:

- Número total de ONUs activas: $N = 86$
- Plan promedio considerado: $B_{prom} = 300$ Mbps
- Factor de simultaneidad: $S = 0,30$
- Capacidad efectiva del puerto GPON: $C_{GPON} = 1,2$ Gbps (1200 Mbps)
- Relación de split utilizada: 1:8 y 1:16

La demanda de tráfico simultáneo agregada se calcula mediante la expresión:

$$C_{dem} = N \cdot B_{prom} \cdot S$$

Sustituyendo los valores del proyecto:

$$C_{dem} = 86 \cdot 300 \cdot 0,30$$

$$C_{dem} = 7740 \text{ Mbps}$$

Este valor representa la demanda simultánea total teórica del conjunto de usuarios. Dado que dicha demanda se distribuye entre varios puertos GPON, se procede a evaluar la carga por puerto considerando una distribución promedio de 16 ONUs por puerto.

La demanda simultánea por puerto se calcula como:

$$C_{dem_puerto} = 16 \cdot 300 \cdot 0,30$$

$$C_{dem_puerto} = 1440 \text{ Mbps}$$

Si bien este valor se aproxima a la capacidad efectiva adoptada para el puerto GPON, se considera técnicamente viable debido a que no todos los usuarios cuentan con planes de 300 Mbps o superiores, ni consumen de forma simultánea su ancho de banda máximo.

El factor de sobresuscripción u overbooking por puerto se determina mediante la relación:

$$OB = \frac{N \cdot B_{prom}}{C_{GPON}}$$

Para un puerto con 16 ONUs:

$$OB = \frac{16 \cdot 300}{1200}$$

$$OB = 4$$

Este resultado corresponde a un overbooking efectivo de 1:4 a nivel de puerto, valor ampliamente aceptable en redes GPON. A nivel global de la red, el overbooking técnico se mantiene dentro del rango objetivo de 1:20 a 1:30, conforme a prácticas recomendadas en redes de acceso por fibra óptica [11], [4].

5.3.5 Conclusión del dimensionamiento

Con base en el análisis desarrollado, se concluye que la red GPON diseñada cuenta con la capacidad suficiente para soportar la base actual de 86 ONUs, los planes comerciales definidos y el crecimiento proyectado en el corto y mediano plazo. El uso combinado de relaciones de split 1:8 y 1:16, junto con un control adecuado de la simultaneidad y el overbooking, permite garantizar un equilibrio entre eficiencia en el uso del ancho de banda y calidad del servicio ofrecido.

Este dimensionamiento técnico constituye una base sólida para la validación empírica del desempeño de la red, la cual se realiza mediante pruebas reales de throughput, latencia y tráfico sostenido, presentadas en el Anexo.

5.4 Diseño técnico de sistema híbrido FO+RF

El diseño técnico del sistema híbrido FO+RF se fundamenta en la integración de tecnologías inalámbricas de alto desempeño y redes ópticas de acceso, con el propósito de garantizar conectividad estable, escalable y adecuada a las condiciones geográficas del entorno rural. En particular, el componente de radiofrecuencia se concibe como un enlace troncal estratégico para salvar distancias, superar obstáculos topográficos y asegurar continuidad del servicio en escenarios donde el despliegue exclusivo de fibra óptica no resulta viable. Este enfoque se alinea con arquitecturas de acceso y backhaul inalámbrico de alta capacidad utilizadas en redes rurales, las cuales priorizan eficiencia espectral, confiabilidad y escalabilidad operacional [18].

5.4.1 Diseño del enlace de radiofrecuencia

Con base en los análisis de línea de vista y distancia:

- Se definió una torre auto soportada de 18 m en Chocoita.
- Los radios MikroTik se configuraron bajo el protocolo propietario NV2 TDMA, el cual permite mejorar la eficiencia espectral, reducir la latencia y optimizar el rendimiento del enlace mediante mecanismos de programación y control del acceso al medio definidos a nivel de RouterOS [19].

- La modulación adaptativa y tecnología airMAX AC permitieron un rendimiento óptimo [20].

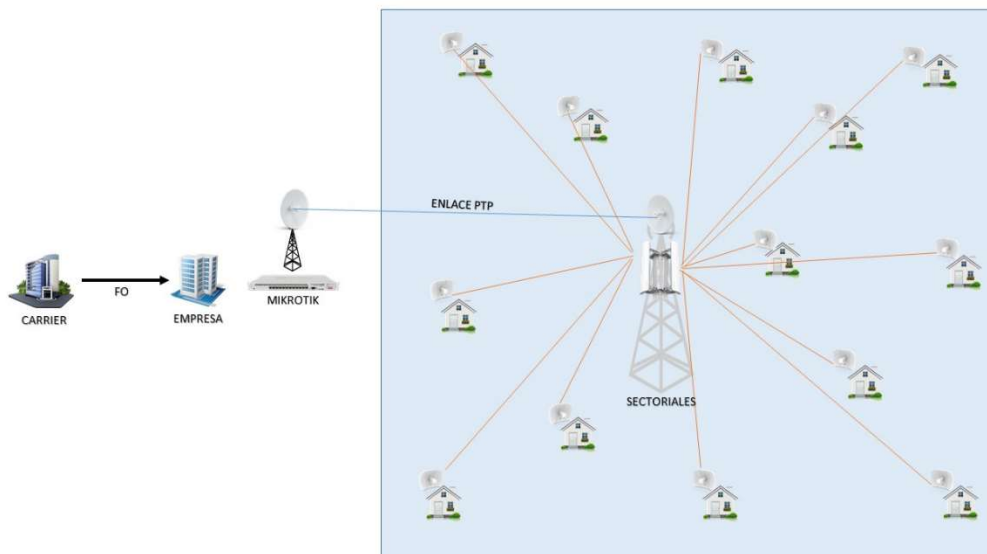
- Se seleccionaron antenas Ubiquiti LiteBeam AC Gen2 para el enlace troncal [21].

Se obtuvieron niveles teóricos de:

- RSSI: -55 a -62 dBm
- Throughput troncal estimado: 250–350 Mbps
- Latencia: < 7 ms

Con la información obtenida se procedió a la fase de diseño estructural y técnico del sistema. Se elaboraron los diagramas de cableado y mapas de tramos utilizando herramientas como Google Maps y AutoCAD, donde se representaron las rutas de distribución de fibra óptica y los enlaces de radiofrecuencia entre las estaciones principales. (véase Figura 6).

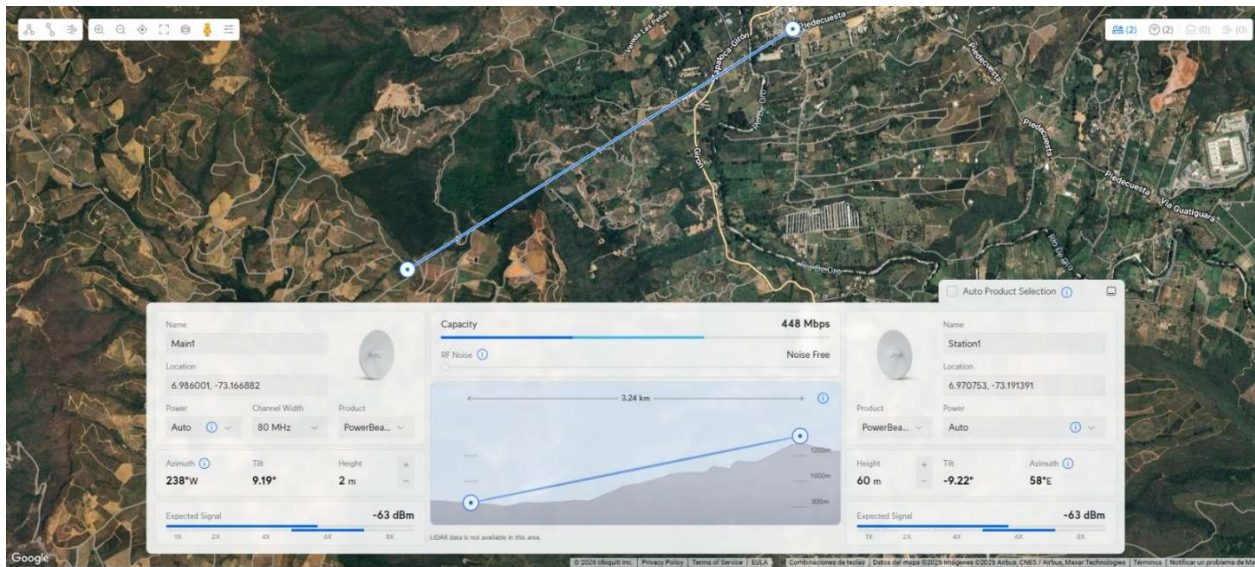
Figura 6. Diagrama de radiofrecuencia (RF) de la red de acceso con enlace PTP y distribución sectorial



Nota: el diagrama representa la arquitectura de radiofrecuencia propuesta para la red de acceso con enlace PTP y distribución sectorial.

Con el fin de visualizar la infraestructura actualmente implementada, se presenta la topología física de la red que soporta el sistema de conectividad del proyecto. En esta topología se identifican los enlaces de fibra óptica y radiofrecuencia que conforman la arquitectura híbrida utilizada para la interconexión entre el nodo principal y los puntos de acceso distribuidos en la zona de estudio, incorporando esquemas de distribución inalámbrica punto–multipunto mediante antenas sectoriales, ampliamente utilizados en redes de acceso rural por su eficiencia y escalabilidad [20].

Figura 7. Enlace RF punto a punto para la interconexión entre nodos de la red híbrida FO–RF.

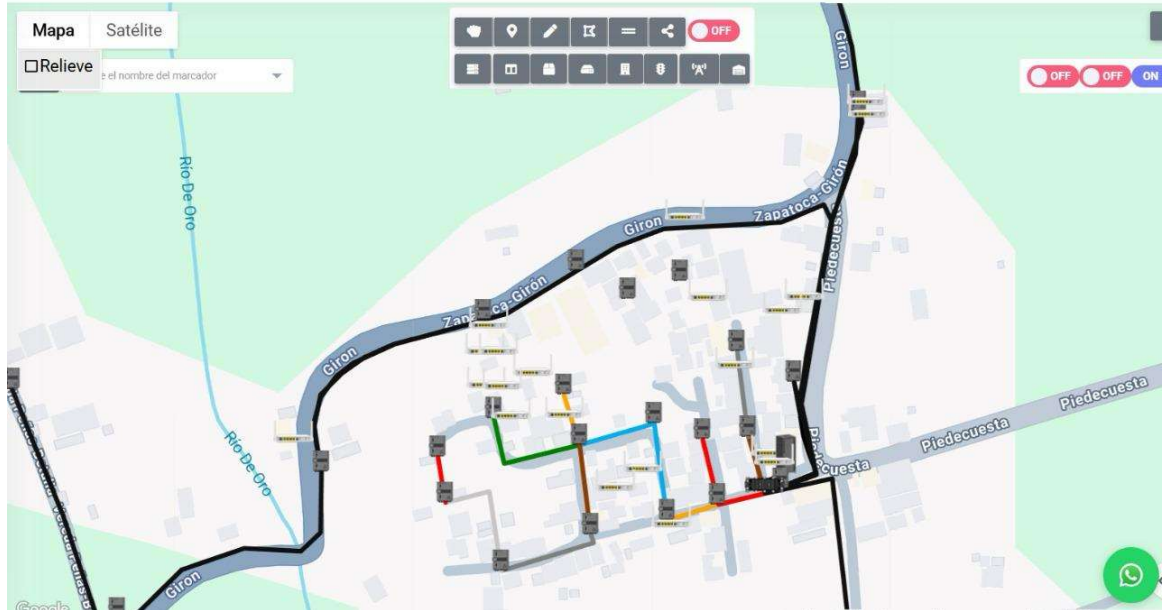


Nota: la simulación del enlace se realizó mediante la herramienta airLink™ de Ubiquiti Networks, utilizando cartografía satelital de Google Maps.

En la Figura 7 se observa la interconexión entre el nodo central, los equipos de enrutamiento y los enlaces de acceso, evidenciando la coexistencia de enlaces de fibra óptica y radioenlaces como solución de conectividad para la zona de estudio.

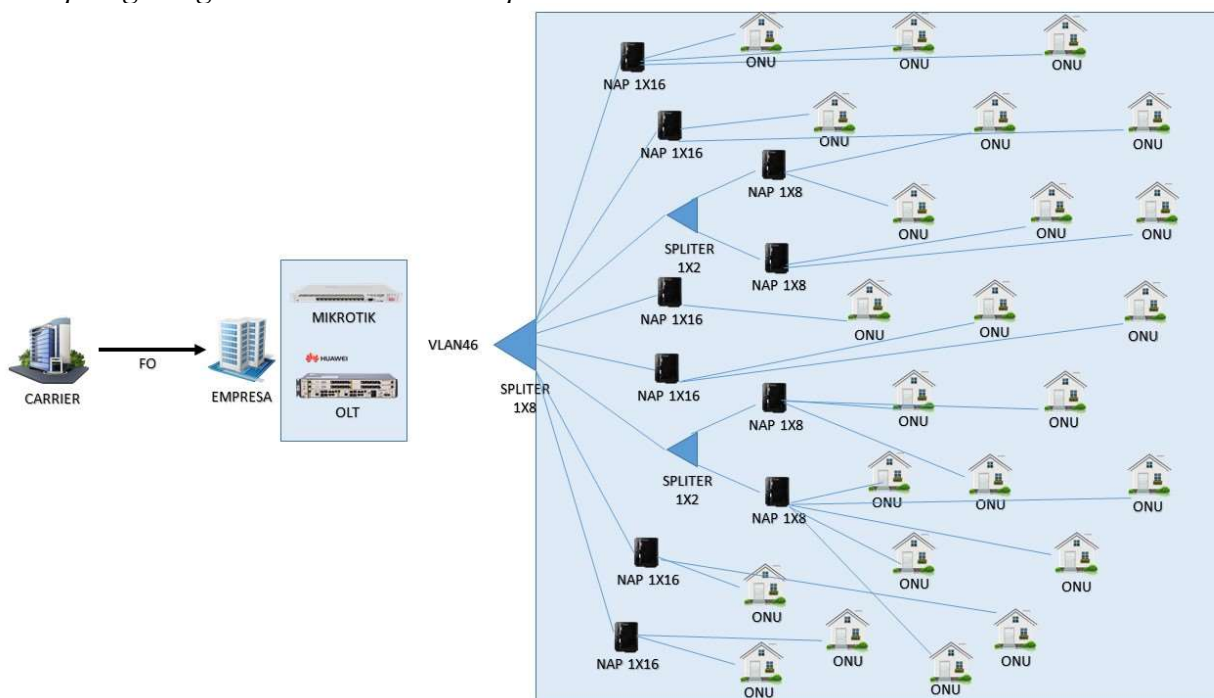
A continuación, se presenta la *Figura 8*, correspondiente a la topología física real de la red de acceso por fibra óptica en la vereda Chocoita, la cual evidencia la implementación del despliegue FTTH y la organización de los puntos de acceso hacia los usuarios finales.

Figura 8. Topología física de la red de acceso por fibra óptica en la vereda Chocoita.



Nota: la topología se elaboró a partir del sistema de gestión y planificación de red FTTH, utilizando cartografía base de OpenStreetMap.

Además de la estructura física, la red cuenta con una organización lógica que permite la gestión eficiente del tráfico y la segmentación de los servicios. A continuación, se presenta la topología lógica de la red implementada.

Figura 9. Topología lógica de la red GPON implementada

Nota: la topología lógica corresponde al diseño de red GPON implementado en el proyecto.

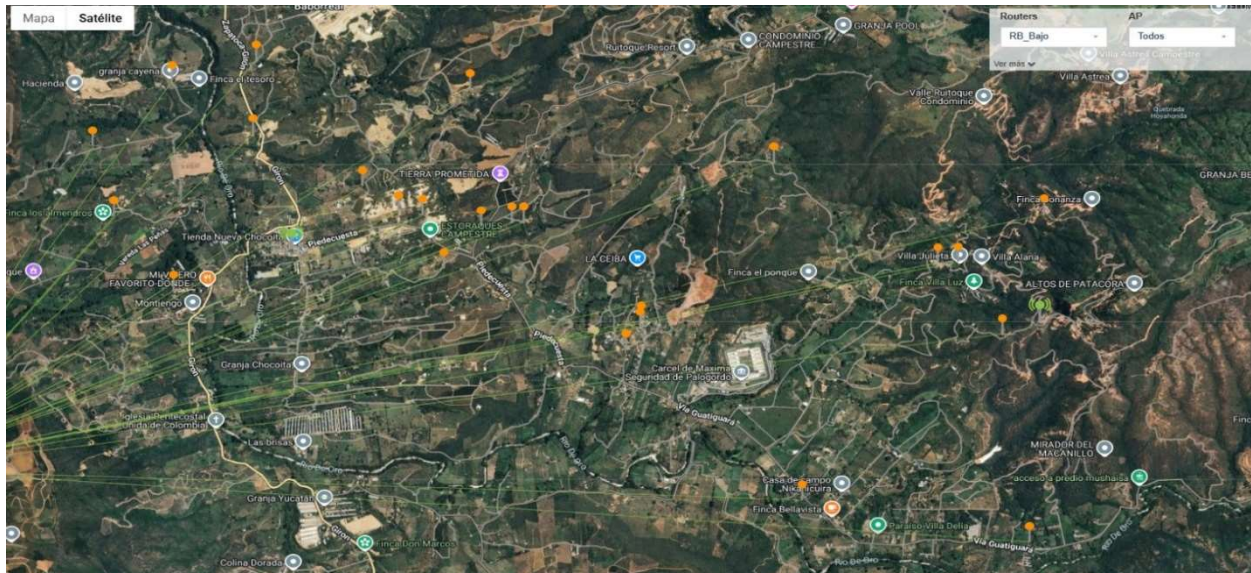
La figura 9 presenta la topología lógica de la red de acceso basada en tecnología GPON. La conexión se origina en el proveedor de transporte (Carrier), desde donde el enlace de fibra óptica llega a la infraestructura de la empresa. En este punto se integra el equipo de enrutamiento MikroTik, encargado de la gestión del tráfico IP y la segmentación lógica mediante VLAN, seguido del equipo OLT Huawei, que actúa como nodo central de la red de acceso [12], [15].

A partir del puerto GPON de la OLT, el tráfico es distribuido a través de una arquitectura de red pasiva utilizando splitters ópticos de primer y segundo nivel (1:8 y 1:2), los cuales permiten ampliar la cobertura sin requerir equipos activos intermedios. Desde los puntos de distribución (NAP 1x16 y NAP 1x8), la señal es entregada a las ONUs instaladas en los usuarios finales, garantizando conectividad de banda ancha bajo un esquema punto-multipunto [14], [17].

Esta topología lógica evidencia la jerarquía funcional de la red, la segmentación mediante VLAN (VLAN 46) y la eficiencia del modelo GPON para la provisión de servicios de internet de alta capacidad en entornos rurales y semiurbanos [14], [13].

Considerando la necesidad de escalabilidad y mejora continua del servicio, se plantea un escenario de evolución tecnológica que permita la migración progresiva de los enlaces inalámbricos hacia una infraestructura completamente basada en fibra óptica [10], [11].

Figura 10. Escenario de migración tecnológica de enlaces RF a fibra óptica en la red rural propuesta



Nota: la cartografía satelital corresponde a datos de Google Earth y la información operativa al proyecto de red de acceso.

La Figura 10 ilustra un escenario de migración futura de la red, donde los enlaces de radiofrecuencia actualmente planificados o en operación (indicados en color naranja) se consideran como soluciones temporales, con proyección a ser reemplazados progresivamente por enlaces de fibra óptica. Esta estrategia permite garantizar conectividad inmediata en zonas rurales, al tiempo que se establece una hoja de ruta para la expansión de la infraestructura óptica sin afectar la arquitectura troncal del sistema [3], [4].

5.4.2 *Diseño del sistema de fibra óptica GPON*

El diseño GPON incluyó:

- Ubicación del rack principal con ODF, OLT y bandejas de fusión.
- Definición de NAPs, muflas y derivaciones.
- Selección de fibras de 12, 24 y 48 hilos según el tramo.
- Cálculo de pérdidas ópticas:
 - Atenuación por km
 - Pérdidas por empalme
 - Pérdidas por splitter
 - Margen de seguridad del 30%

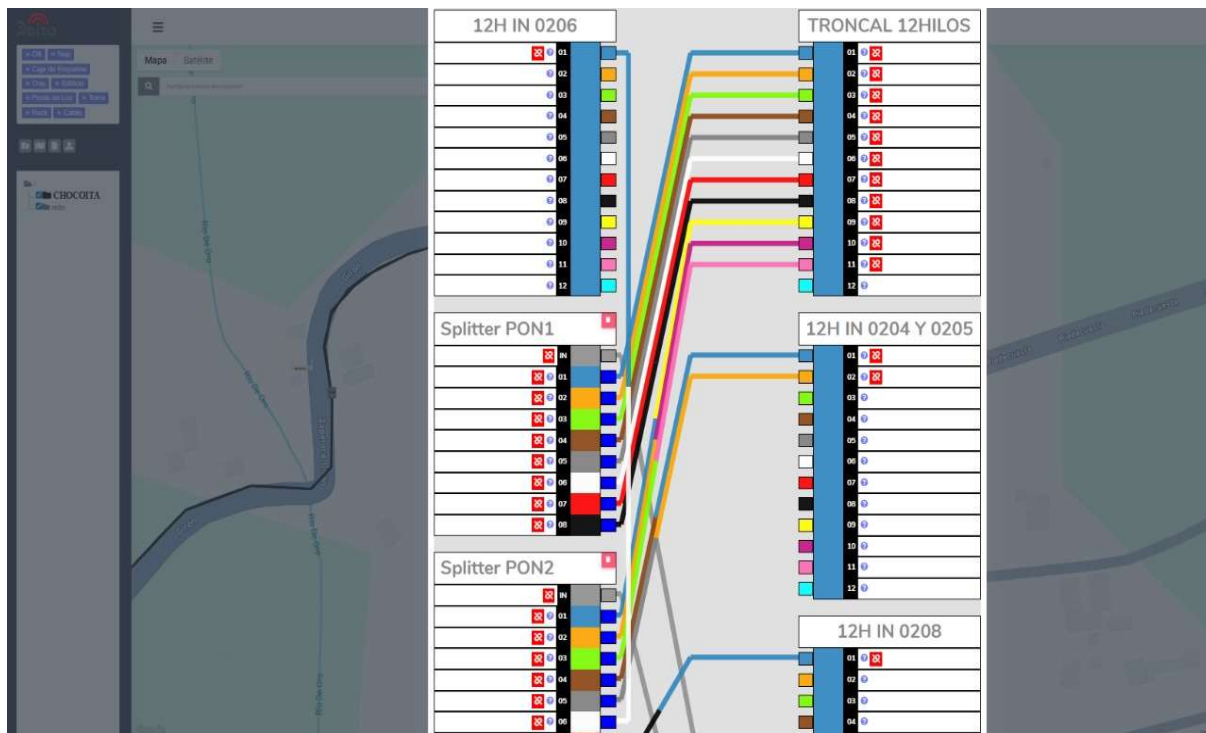
Se garantizó:

- Potencia de recepción en ONU entre -18 dBm y -26 dBm
- Distancias máximas inferiores a 18 km, compatibles con ITU-T G.984.

El diseño contempló la instalación de una red GPON compuesta por un equipo OLT (Optical Line Terminal) ubicado en el nodo central y varias ONUs (Optical Network Units) destinadas a los usuarios finales. Se definió también la cantidad y tipo de equipos necesarios, los niveles de potencia óptica permitidos y los parámetros de atenuación por tramo, asegurando una correcta relación entre distancia, pérdidas y calidad de servicio [12], [15].

Se diseñó un esquema de distribución óptica que permite una adecuada gestión de los hilos de fibra y una eficiente distribución del ancho de banda hacia los usuarios finales.

Figura 11. Diagrama de distribución de fibra óptica y asignación de hilos en la red GPON.



Nota: el diagrama se elaboró a partir del diseño lógico y físico de la red de acceso por fibra óptica del proyecto.

La Figura 11 muestra la organización física de la red de fibra óptica, incluyendo la asignación de hilos, troncales y splitters PON utilizados para la distribución del servicio.

5.4.3 Justificación tecnológica del uso de GPON en el proyecto

El diseño del sistema de acceso por fibra óptica propuesto en el presente proyecto se fundamenta en la adopción de la tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network), seleccionada en función de las condiciones geográficas, la densidad de usuarios proyectada y los requerimientos de escalabilidad del servicio en la vereda Chocota [4].

Con el fin de sustentar técnicamente la elección de la arquitectura GPON para el diseño de la red de acceso del proyecto, se presenta a continuación un cuadro comparativo entre la tecnología

PON tradicional y GPON, enfocado específicamente en los criterios que impactan el diseño, la operación y la escalabilidad de la red.

Tabla 2. Comparación técnica entre tecnologías PON y GPON.

Característica	PON tradicional	GPON	Impacto en el proyecto
Capacidad por puerto	Limitada (< 1 Gbps)	Hasta 2.5 Gbps downstream y 1.25 Gbps upstream	GPON permite atender mayor número de ONUs con planes comerciales de hasta 500 Mbps
Relación de split	Reducida (1:8 – 1:16)	Flexible (1:8, 1:16, 1:32)	Posibilita optimizar el uso de fibra y NAPs según la dispersión geográfica
Escalabilidad	Baja	Alta	Facilita la expansión futura sin rediseñar la red troncal
Gestión de tráfico	Básica	Avanzada (QoS, perfiles, VLAN)	Permite controlar overbooking y calidad de servicio
Integración con OLT moderna	Limitada	Total	Compatible con la OLT Huawei utilizada en el proyecto
Migración tecnológica	Restringida	Preparada para XG-PON / XGS-PON	Garantiza sostenibilidad tecnológica del diseño

Nota: El impacto en el proyecto corresponde a un análisis propio ajustado a las condiciones de implementación en la vereda Chocoita.

A partir de esta comparación, se concluye que GPON es la alternativa más adecuada para el escenario del proyecto, al ofrecer un equilibrio entre capacidad, eficiencia operativa y posibilidad de crecimiento.

Con el fin de evaluar de manera estratégica la implementación de GPON en zonas rurales, se emplea la matriz DOFA, la cual permite identificar factores internos y externos que influyen en la viabilidad y sostenibilidad de la solución tecnológica.

Tabla 3. *Matriz DOFA de la tecnología GPON aplicada a zonas rurales*

Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Alta capacidad por puerto OLT, adecuada para atender 86 ONUs actuales y crecimiento futuro. • Arquitectura pasiva que reduce puntos activos en campo, disminuyendo costos de operación. • Compatibilidad con esquemas de overbooking controlado (1:20 – 1:30). • Integración con VLAN y gestión centralizada desde la OLT. 	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de migración futura a tecnologías XG-PON o XGS-PON sin cambios estructurales mayores. • Incremento en la demanda de servicios de alta velocidad en la zona. • Capacidad de ofrecer planes comerciales diferenciados (200, 300 y 500 Mbps).
Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Dependencia de una OLT central como punto crítico de la red. • Requerimiento de una correcta planificación de splitters para evitar saturación. • Inversión inicial mayor frente a soluciones inalámbricas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento descontrolado del consumo de tráfico si no se gestiona adecuadamente la simultaneidad. • Fallas en el tramo troncal de fibra que afecten múltiples usuarios. • Aparición de competidores con redes FTTH de mayor capacidad si no se planifica la expansión.

Nota: La evaluación estratégica se realizó con base en el contexto técnico del proyecto.

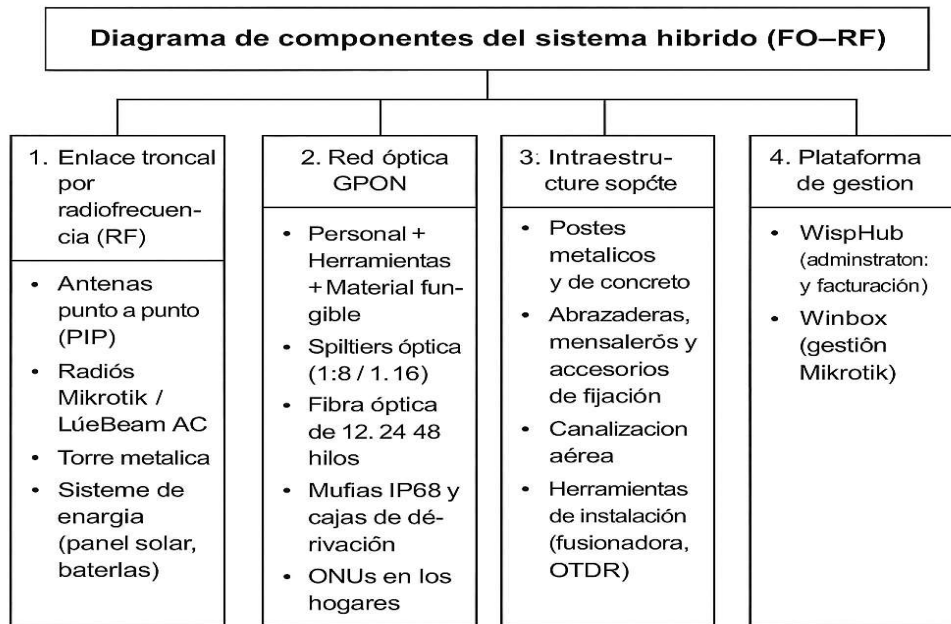
El análisis de la matriz DOFA evidencia que la tecnología GPON presenta fortalezas técnicas significativas que la convierten en una alternativa sólida para entornos rurales, particularmente por su alta capacidad, estabilidad y bajo mantenimiento operativo. Estas fortalezas permiten aprovechar oportunidades asociadas a la expansión regional de la conectividad y al fortalecimiento de procesos de inclusión digital, alineados con las necesidades de desarrollo local [14], [13].

No obstante, la inversión inicial requerida y la dependencia de una adecuada planificación técnica constituyen debilidades que deben ser gestionadas estratégicamente [4]. Asimismo, las amenazas externas relacionadas con factores ambientales, energéticos y de seguridad resaltan la necesidad de incorporar medidas de mitigación desde la fase de diseño, garantizando la sostenibilidad y continuidad del servicio en el tiempo [11], [13].

Se estimaron los costos de materiales y equipos considerando herrajes, cableado, licencias de software, mano de obra y soporte técnico. Esta planeación permitió optimizar los recursos disponibles en convenio con la empresa Iluminación San Juan de Girón, que aportó parte de la infraestructura de postes y canalizaciones, reduciendo significativamente los costos de despliegue del proyecto.

El modelo de diseño combinó radiofrecuencia para la troncal principal y fibra óptica aérea para la distribución local, garantizando estabilidad, capacidad de expansión y fácil mantenimiento, conforme a las recomendaciones internacionales para redes híbridas en zonas rurales. [10], [11], [17].

Figura 12. Diagrama de componentes del sistema híbrido y proyección de costos estimados por tramo.



Proyección de costos estimados por tramo (derivado de la tabla suministrada)

Componente del Sistema	Rubros asociados	Costo estimado	Participación (%)
Tramo RF (troncal)	Personal + Herramientas + Material fungible	\$ 10.000.000	43%
Tramo FO (fibra óptica)	Fibras, mufias, postes, conectores, empalmes	\$ 8.500.000	37%
Gestión y software	WispHub, Mikrotik/Winbox	1.500.000	6%
TOTAL	—	23.000.000	100%

Nota: el diagrama integra los componentes del sistema híbrido y la proyección de costos estimados por tramo del proyecto.

5.5 Instalación de infraestructura física

La instalación fue desarrollada en varias etapas:

5.5.1 Montaje de postes, herraje y torre

Durante esta fase, el equipo técnico desarrolló las labores de montaje siguiendo procedimientos estandarizados para garantizar la estabilidad estructural y la correcta disposición de los elementos que soportan la red híbrida. En primer lugar, se realizó la excavación manual de los puntos de hincado, asegurando una profundidad adecuada para lograr el empotramiento firme de los postes nuevos y evitar desplazamientos por vibraciones, humedad o cargas mecánicas. Posteriormente, los postes fueron nivelados y fijados con material compactado, validando su verticalidad mediante herramientas de alineación.

En paralelo, se ejecutó el montaje de la torre metálica de 18 metros, ensamblando sus tramos modulares desde la base hasta la cúspide y empleando un sistema de anclaje con retenidas para garantizar resistencia ante cargas de viento, considerando los requerimientos mecánicos asociados a la instalación de antenas sectoriales en torres de telecomunicaciones [20]. Todo el proceso incluyó la aplicación de pintura anticorrosiva y la verificación de uniones, pernos y platinas para asegurar su integridad estructural.

Finalizado el levantamiento de postes y torre, se procedió a la instalación de herrajes, abrazaderas, mensajeros y retenidas, elementos que permiten sostener y tensionar el cableado de fibra óptica. Cada herraje fue instalado respetando distancias reglamentarias y se realizó una alineación preliminar para facilitar posteriormente el tendido del cable. Este proceso permitió dejar lista la infraestructura física para las etapas de cableado, empalme y puesta en servicio del sistema óptico.

- Instalación de postes adicionales en zonas sin soporte existente.
- Adecuación y refuerzo de postes administrados por la concesión.

- Montaje de la torre metálica de 18 m con sistemas de anclaje y protección anticorrosiva.
- Instalación de herrajes, abrazaderas y mensajeros para el tendido óptico.

5.5.2 Empalme y fusiones

Se realizaron fusiones con equipo de arco eléctrico de precisión:

- Pérdida promedio por fusión: 0.03 – 0.05 dB
- Empalmes verificados mediante reflectometría OTDR.
- Pruebas de atenuación certificadas en cada tramo.

Tabla 4. Rubros del Proyecto

Rubros	Recursos Propios	Otros (Apoyo externo / convenios)	Total (COP)
Personal (ingeniero, técnico, ayudante)	\$6.000.000	\$4.000.000	\$10.000.000
Equipos de cómputo (portátiles, herramientas de red)	\$2.000.000	\$1.000.000	\$3.000.000
Uso de software (WispHub, Mikrotik/Winbox licencias)	\$1.000.000	\$500.000	\$1.500.000
Material fungible (herrajes, postes, muflas, conectores, seguridad industrial, transporte)	\$5.000.000	\$3.500.000	\$8.500.000
TOTAL	\$14.000.000	\$9.000.000	\$23.000.000

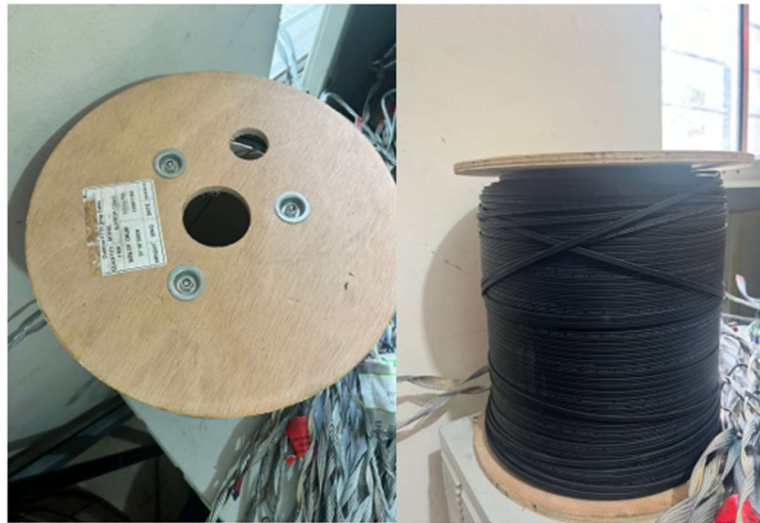
Nota. Los valores están expresados en pesos colombianos (COP) y corresponden a costos estimados para la ejecución del proyecto.

5.5.3 Implementación

La implementación del proyecto se desarrolló en tres etapas operativas: instalación, configuración y validación.

Primero, se ejecutó la instalación de herrajes, postes y cableado de fibra óptica, empleando cables de 12, 24 y 48 hilos según el tramo [22]. Cada conexión fue documentada mediante fotografías de campo que evidencian el proceso de montaje, empalme y fusión [23]. (véase Figura 13, 14, 15 y 16).

Figura 13. Bobinas de fibra óptica de acometida utilizadas para el tendido aéreo del sistema híbrido.



Nota: las bobinas de fibra óptica corresponden a los materiales utilizados para el tendido aéreo del sistema híbrido.

Figura 14. *Despliegue en campo de bobina de fibra óptica para el tendido aéreo en la vereda Chocoita.*



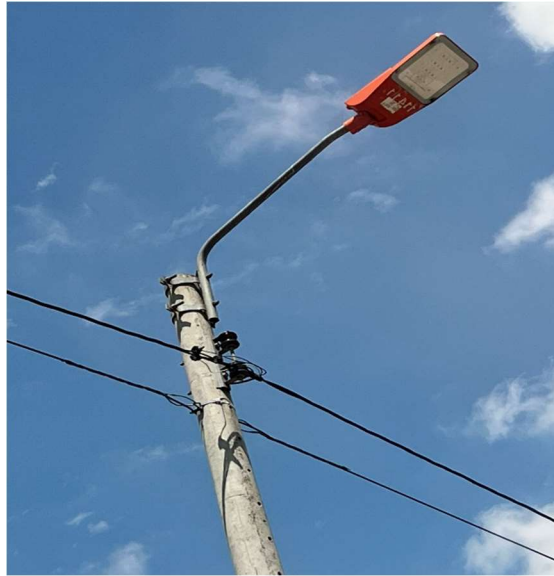
Nota: el despliegue en campo corresponde a las actividades de tendido aéreo de fibra óptica realizadas en la vereda Chocoita.

Figura 15. *Preparación del terreno para la instalación de postes de soporte de la red de fibra óptica aérea.*



Nota: la preparación del terreno corresponde a las labores previas para la instalación de postes de soporte de la red de fibra óptica aérea.

Figura 16. Poste de concreto ya instalado con luminaria y herrajes utilizados como soporte para el cableado de fibra óptica aérea.



Nota: el poste de concreto corresponde a la infraestructura instalada como soporte para el cableado de fibra óptica aérea del proyecto.

5.6 Instalación y configuración de equipos activos

La instalación y configuración de los equipos activos constituyó una fase crítica del proyecto, ya que en este punto se articularon todos los recursos definidos previamente en las tablas de materiales, herramientas y equipos técnicos. Esta etapa representó la transición entre la infraestructura pasiva instalada (postes, herrajes, cableado óptico, muflas y canalizaciones) y la activación funcional del sistema híbrido FO–RF, garantizando que cada componente operara conforme a los parámetros previstos en el diseño.

Para ello, se utilizaron los instrumentos y equipos descritos en el inventario técnico del proyecto, tales como herramientas de empalme, analizador de espectro, medidor de potencia óptica, equipos portátiles de configuración, licencias de software (WispHub y Winbox) y radios

de gestión. El uso de estos recursos permitió verificar que las conexiones físicas, ópticas y de radiofrecuencia cumplieran con los estándares de calidad establecidos por la UIT y la CRC [4], [5], y que los dispositivos activos pudieran integrarse sin interferencias, pérdidas excesivas ni desajustes en los perfiles de operación.

Adicionalmente, esta etapa permitió validar la coherencia del diseño frente a los requerimientos reales del terreno. Las mediciones tomadas con los equipos presentes en las tablas, como potencia RX/TX, parámetros de alineación, latencia promedio y estabilidad del enlace, confirmaron que la infraestructura soportaba el tráfico esperado y que los equipos activos respondían adecuadamente a la configuración definida. De esta manera, la instalación de OLT, ONUs, radios PtP y nodos de gestión se ejecutó con base en los recursos, instrumentos y procedimientos previamente planificados, evidenciando una correspondencia estricta entre el diseño teórico, los materiales adquiridos y la puesta en marcha técnica del sistema.

La etapa incluyó:

5.6.1 Equipos GPON

- Instalación de OLT Huawei MA5800-X15 [15]
- Instalación de ONUs Huawei HG8546M [16]
- Configuración de VLAN, perfiles de usuario y potencia TX/RX
- Activación de perfiles de ancho de banda y priorización QoS.

5.6.2 Equipos de radiofrecuencia

Posteriormente, se instalaron los equipos de radiofrecuencia Mikrotik y LiteBeam [19], [21], configurados con Winbox y WispHub para la gestión de red y monitoreo de usuarios. Dado que algunos nodos de la red se ubican en zonas sin disponibilidad de red eléctrica convencional, se implementó un sistema de alimentación autónoma basado en paneles solares, controlador de carga MPPT y banco de baterías, con el fin de garantizar la operación continua y estable de los

Figura 17. *Instalación de antena de radiofrecuencia con sistema de alimentación solar y gabinete de telecomunicaciones en sitio troncal*

enlaces inalámbricos [24], [25], [26]. Se integraron además equipos GPON (OLT, ONUs, ODF y splitters ópticos) en un rack central, garantizando la correcta distribución de la señal óptica.



Nota: la instalación corresponde al montaje de la antena de radiofrecuencia con sistema de alimentación solar y gabinete de telecomunicaciones en el sitio troncal del proyecto.

Figura 18. Gabinete de telecomunicaciones para recepción de enlace de radiofrecuencia y distribución hacia el sistema híbrido FO–RF.



Nota: el gabinete corresponde a la infraestructura de telecomunicaciones del sistema híbrido.

5.7 Pruebas técnicas y validación operativa

Se ejecutaron pruebas de:

5.7.1 Potencia óptica

- Potencias finales entre -18 y -24 dBm.
- Atenuación dentro de los rangos admisibles ITU-T [11].

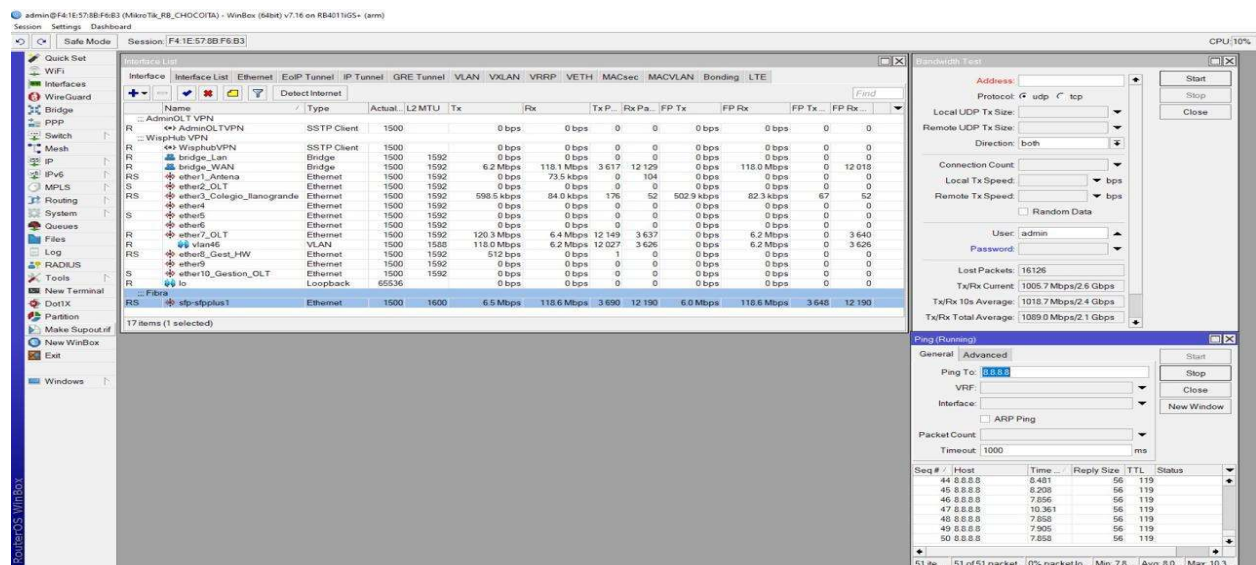
5.7.2 Pruebas de red

Con el fin de validar el comportamiento real de la red implementada y contrastar los resultados con el dimensionamiento teórico desarrollado previamente, se realizó el análisis de métricas operativas obtenidas directamente desde los equipos de red MikroTik. Estas métricas permiten evaluar el desempeño del sistema en términos de capacidad, estabilidad y calidad del servicio.

Las variables analizadas incluyen el ancho de canal, el throughput en transmisión y recepción (TX/RX), la latencia, el jitter y las velocidades de subida y bajada, parámetros fundamentales para caracterizar el rendimiento de una red de acceso tanto inalámbrica como de fibra óptica.

Los resultados obtenidos confirman que el enlace es capaz de sostener niveles de tráfico acordes con los requerimientos del diseño, sin presentar saturaciones significativas.

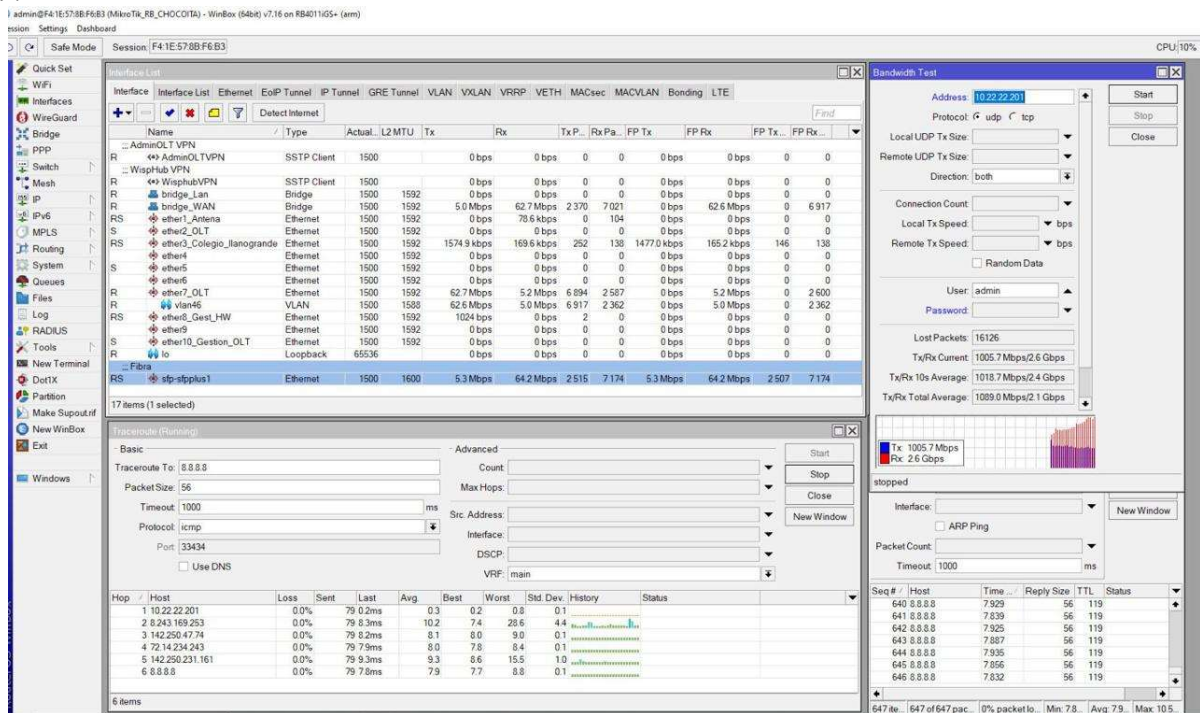
Figura 19. Métricas de throughput y capacidad del canal en enlace Mikrotik (TX/RX).



Nota: las métricas corresponden a capturas del sistema de gestión Mikrotik RouterOS (WinBox).

La figura 19 presenta las métricas de transmisión (TX) y recepción (RX) del enlace principal gestionado mediante equipos Mikrotik, evidenciando el comportamiento real del tráfico en condiciones operativas. Estos valores permiten analizar el aprovechamiento efectivo del canal, identificar picos de consumo y verificar la estabilidad del enlace bajo carga normal de la red. La información resulta clave para validar la capacidad instalada frente a la demanda de los usuarios conectados.

Figura 20. Prueba de ancho de banda y estabilidad del canal mediante Bandwidth Test en Mikrotik

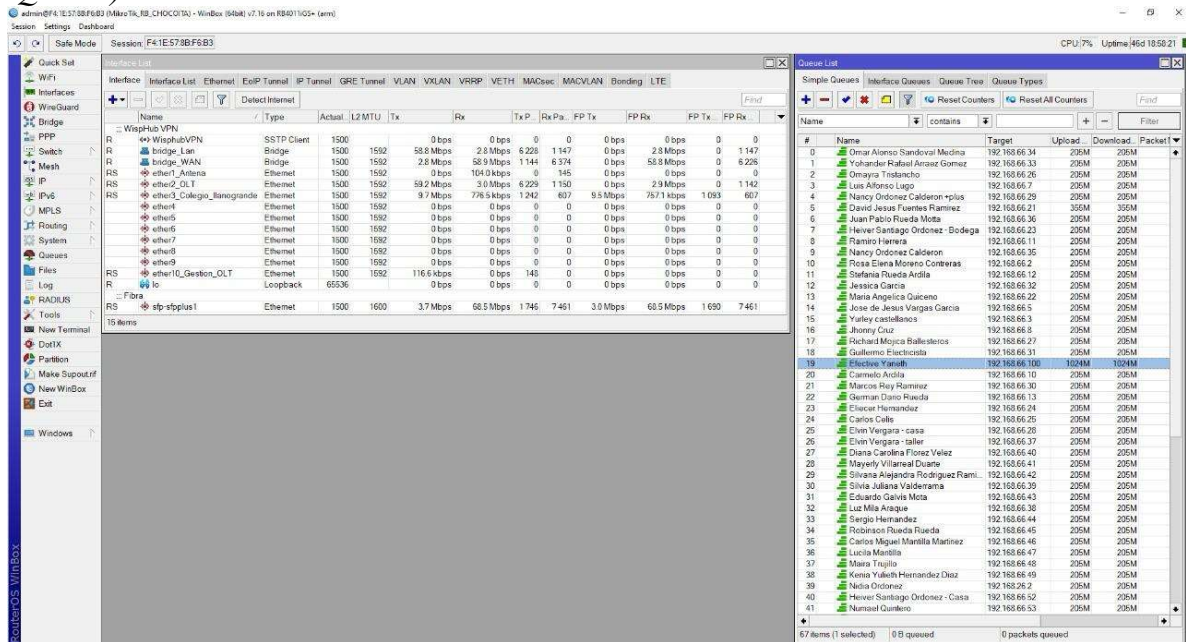


Nota: la prueba se realizó con la herramienta Bandwidth Test de MikroTik RouterOS (WinBox).

En esta figura 20 se observa el resultado de la prueba de ancho de banda realizada mediante la herramienta *Bandwidth Test* de Mikrotik, la cual permite medir la capacidad máxima del enlace tanto en transmisión como en la recepción. Los resultados obtenidos reflejan el desempeño del

canal bajo condiciones de tráfico sostenido, aportando información relevante sobre la estabilidad, eficiencia y margen de operación del enlace de transporte de la red.

Figura 21. Gestión de tráfico y asignación de ancho de banda por usuario mediante colas simples (*Simple Queues*)



Nota: la configuración se realizó en Mikrotik RouterOS (WinBox).

La figura 21, muestra la configuración y operación de las colas simples (*Simple Queues*) implementadas en el router Mikrotik para la gestión del tráfico por usuario. A través de esta política de calidad de servicio (QoS), se establecen límites de ancho de banda individuales que garantizan una distribución equitativa de los recursos, evitan la saturación del canal y aseguran el cumplimiento de los planes comerciales definidos en la red GPON.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de throughput, pruebas de ancho de banda y políticas de gestión de tráfico evidencian que la red opera dentro de los parámetros establecidos en el diseño teórico, validando la capacidad instalada y la correcta configuración de los equipos de red. No obstante, si bien estas métricas permiten evaluar el desempeño general del sistema, el

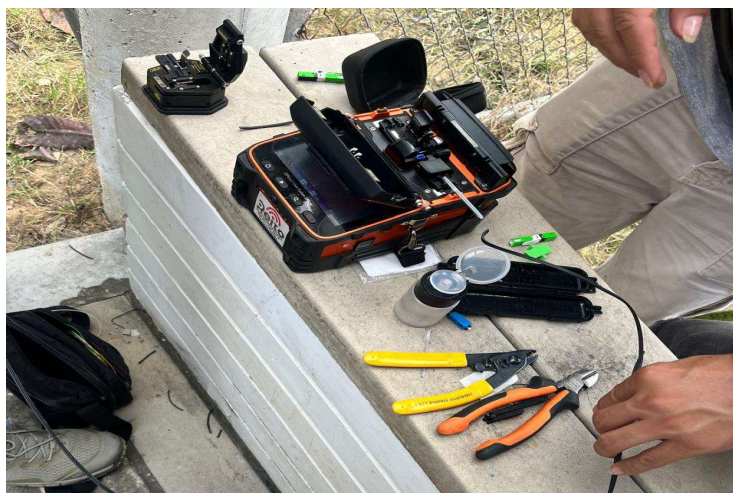
comportamiento de la red depende en gran medida de la estabilidad de los enlaces de radiofrecuencia que conforman parte de la infraestructura de acceso y transporte. En este contexto, resulta necesario analizar de manera específica la estabilidad de los enlaces RF, considerando factores como la variabilidad del medio, interferencias y condiciones del entorno, lo cual se aborda en el siguiente apartado.

5.7.3 Estabilidad RF

- No se detectaron micro cortes en condiciones climáticas normales.
- Se realizaron ajustes menores de alineación.

Durante la instalación, se aplicaron procedimientos de empalme mecánico y fusión térmica, asegurando niveles óptimos de atenuación y continuidad de señal. Se incluyeron pruebas de potencia óptica y mediciones de latencia, verificando la estabilidad de los enlaces y la velocidad del servicio [11].

Figura 22. *Proceso de empalme por fusión de fibra óptica utilizando máquina fusionadora y herramientas especializadas.*



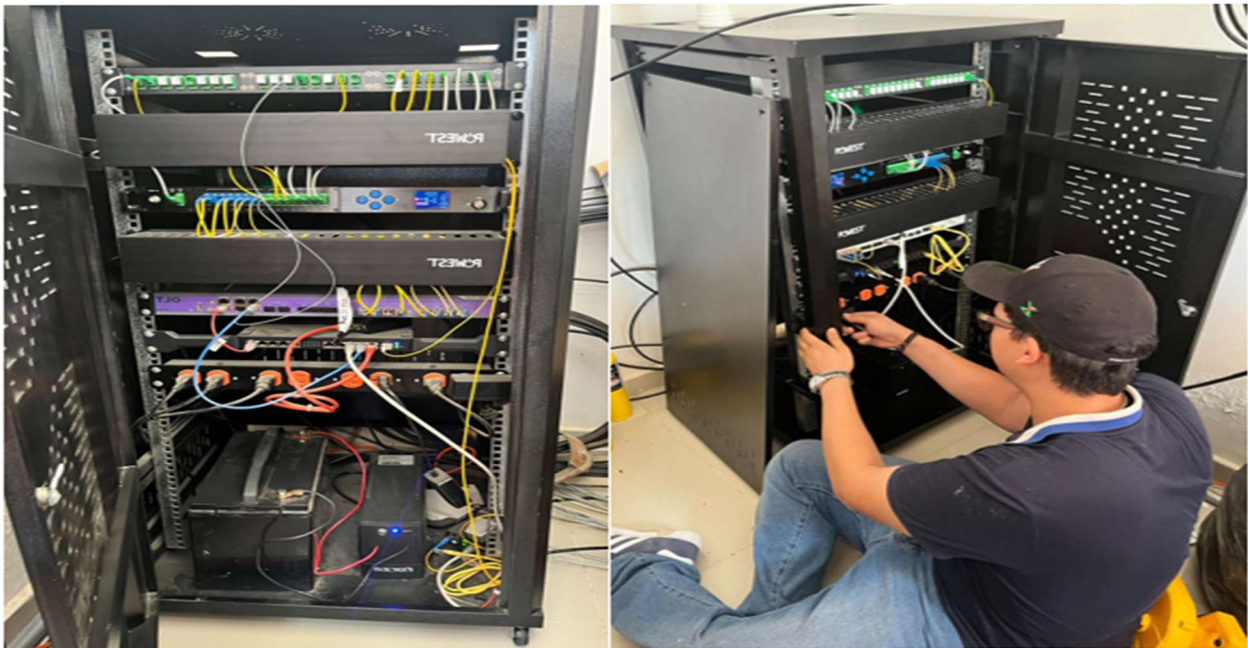
Nota: la actividad se realizó como parte de la implementación de la red de acceso.

Figura 23. *Instalación de caja NAP de derivación para almacenamiento y distribución de fibra óptica hacia las ONUs de los usuarios*



Finalmente, se consolidó un registro fotográfico y técnico de todos los equipos de fibra óptica y radiofrecuencia instalados, incluyendo la documentación de campo y la identificación de cada tramo con etiquetas de mantenimiento. El proceso culminó con la validación funcional de la red, la activación de usuarios y la capacitación básica en operación del sistema, asegurando sostenibilidad técnica y apropiación comunitaria [1]. (véase Figura 22).

Figura 24. *Proceso de verificación final y activación del sistema en el rack de telecomunicaciones principal.*



Nota: actividad correspondiente a la fase de cierre del proyecto.

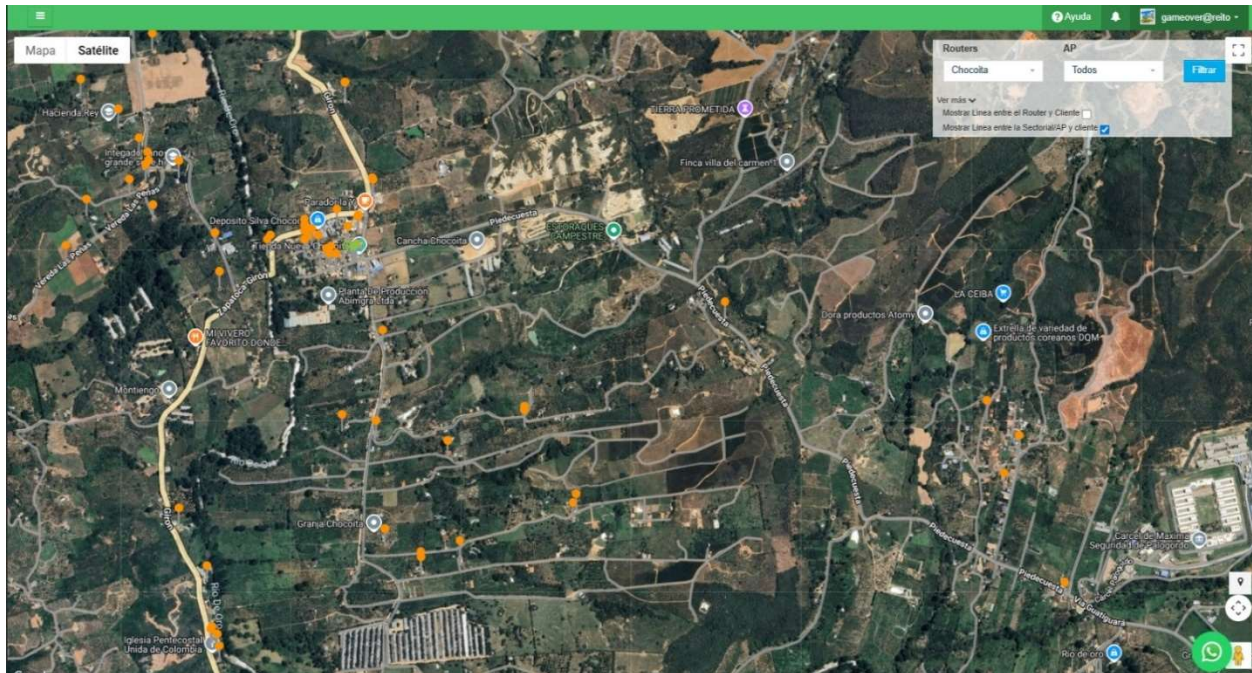
5.8 Herramientas de simulación, configuración y gestión de red

Para el diseño, validación, implementación y monitoreo de la red propuesta en el corredor Palogordo–Chocoita, se emplearon herramientas especializadas que permitieron evaluar tanto los aspectos físicos como lógicos de la infraestructura. Estas herramientas facilitaron el análisis de línea de vista, la configuración de equipos de red y el seguimiento en tiempo real del desempeño del sistema.

En primer lugar, se utilizó Google Earth Pro como herramienta de análisis geográfico y topográfico, permitiendo la evaluación de la línea de vista (Line of Sight – LoS) entre nodos, la identificación de obstáculos naturales y artificiales, así como la medición de distancias y alturas relevantes para los enlaces de radiofrecuencia y el trazado preliminar de la red de fibra óptica. Esta

herramienta fue clave para validar la viabilidad técnica de los enlaces inalámbricos existentes y para proyectar los escenarios de migración hacia fibra óptica.

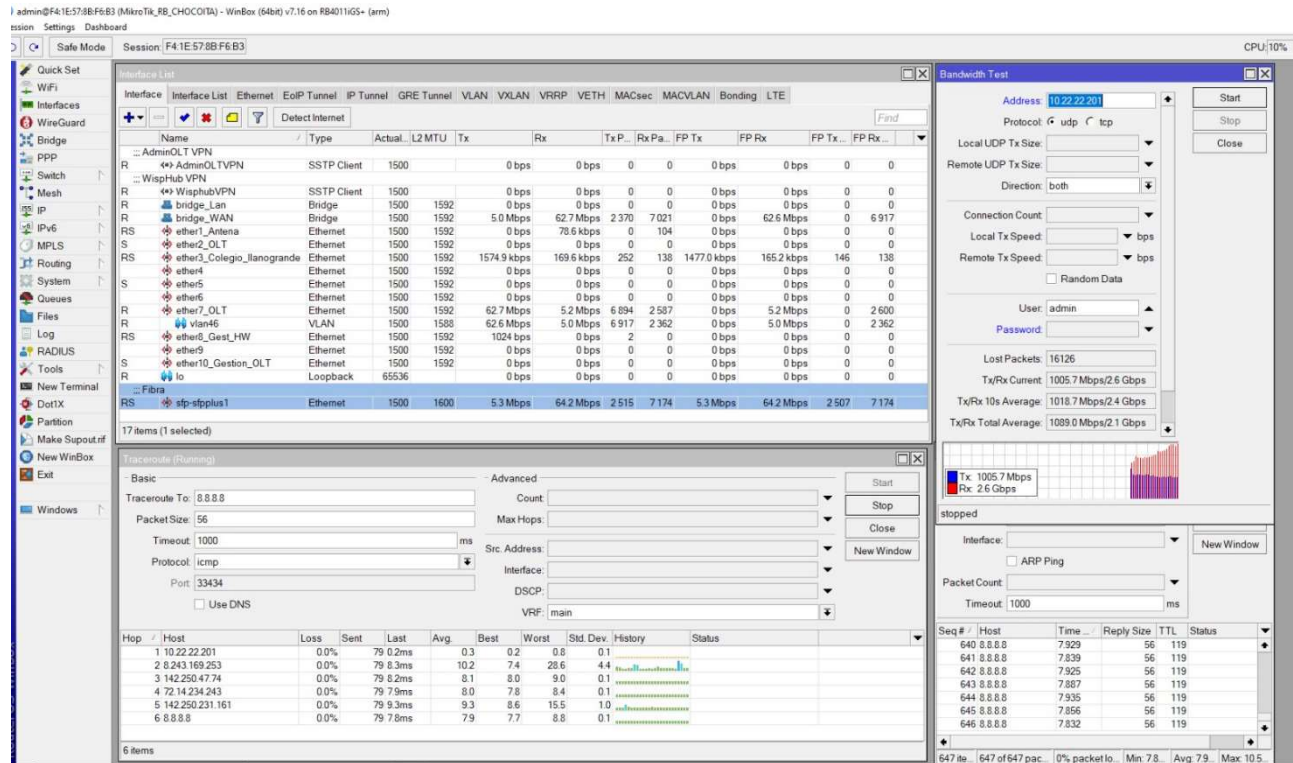
Figura 25. *Análisis de línea de vista (LoS) – Google Earth Pro*



Nota: el análisis se realizó utilizando cartografía satelital de Google Earth Pro.

Para la configuración, administración y monitoreo de los dispositivos de red, se empleó la herramienta Winbox, correspondiente al sistema operativo RouterOS de MikroTik. Mediante esta plataforma se realizaron tareas de configuración de interfaces, VLAN, colas de tráfico (queues), pruebas de ancho de banda, mediciones de latencia y verificación del rendimiento de los enlaces, permitiendo validar en condiciones reales la capacidad y estabilidad de la red.

Figura 26. Interfaz de configuración y monitoreo de RouterOS – Winbox



Nota: la interfaz corresponde a la herramienta Winbox de MikroTik RouterOS.

Adicionalmente, se utilizó la plataforma WispHub como sistema de gestión centralizada del servicio, facilitando la administración de la OLT, el control de ONUs, la supervisión del estado de los usuarios, la visualización de métricas de tráfico y la generación de información estadística relevante para el análisis de capacidad y calidad del servicio [27]. Esta herramienta permitió correlacionar los datos de operación con los cálculos de diseño planteados en el proyecto.

Las capturas de pantalla asociadas a estas herramientas se presentan en las figuras correspondientes, evidenciando el uso real de cada plataforma y respaldando técnicamente las decisiones adoptadas en el diseño y operación de la red.

Figura 27. Panel de gestión y monitoreo de red – WispHub

Nombre	Ranura	Puerto	Estado/Operación	Onus OLT	Onus Sistema	Tipo	TX Power	Ancho de Banda Disponible Garantizado US	Ancho de Banda Total DS	Acción
H805GPFID	1	0	On	12	12	Gpon	7.09	1059.84 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	1	On	9	9	Gpon	7.32	1086.14 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	2	On	26	26	Gpon	7.29	940.16 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	3	On	3	3	Gpon	7.15	1137.73 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	4	On	8	8	Gpon	7.23	1094.91 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	5	On	7	7	Gpon	7.14	1103.68 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	6	On	2	2	Gpon	7.34	1146.5 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	7	On	15	15	Gpon	7.3	1034.56 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	8	On	4	4	Gpon	7.31	1128.96 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	9	Off	0	0	Gpon	7.36	1238.78 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	10	Off	0	0	Gpon	7.11	1238.78 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	11	Off	0	0	Gpon	7.17	1238.78 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	12	Off	0	0	Gpon	7.23	1238.78 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	13	Off	0	0	Gpon	7.22	1238.78 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	14	Off	0	0	Gpon	7.19	1238.78 Mb	2488.32 Mb	[Icons]
H805GPFID	1	15	Off	0	0	Gpon	7.2	1238.78 Mb	2488.32 Mb	[Icons]

Nota: el panel de red corresponde a la plataforma de gestión WispHub.

6. Cronograma

Tabla 5. Cronograma

Actividad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
1. Planeación y gestión de permisos		X	X				
2. Infraestructura y herrajería			X	X			
3. Implementación técnica (fibra + radio)				X	X	X	
4. Pruebas, capacitación y cierre						X	X

Nota: Las marcas señalan los meses en los que se ejecuta cada actividad.

7. Presupuesto

Tabla 6. Presupuesto

Rubros	Recursos propios	Otros (Apoyo externo / convenios)	Total (COP)
Personal técnico y operativo (técnico de campo, técnicos FO, técnico RF, técnico energético, equipo técnico)	\$6.500.000	\$4.500.000	\$11.000.000
Personal profesional (ingeniero de telecomunicaciones, ingeniero de red, ingeniero RF, ingeniero GPON, especialistas FO)	\$9.000.000	\$7.000.000	\$16.000.000
Personal administrativo y coordinación (coordinación del proyecto, comité técnico, equipo de inspección)	\$1.500.000	\$1.000.000	\$2.500.000
Infraestructura y montajes (cuadrilla de infraestructura, equipo estructural, torre metálica de 18 m)	\$5.000.000	\$7.000.000	\$12.000.000
Equipos de cómputo, herramientas y software (portátiles, WispHub, Mikrotik/Winbox, equipos de gestión)	\$8.000.000	\$10.000.000	\$18.000.000
Material fungible (fibra óptica 12 hilos, herrajes, postes, muflas, conectores, ODF, splitters, transporte, seguridad industrial)	\$4.000.000	\$4.500.000	\$8.500.000
Energía autónoma (paneles solares, baterías, reguladores, cableado asociado)	\$2.000.000	\$2.500.000	\$4.500.000
TOTAL	\$36.000.000	\$36.500.000	\$72.500.000

Nota: Los valores están expresados en pesos colombianos (COP) y corresponden a costos estimados para la ejecución del proyecto.

Los valores corresponden a estimaciones de referencia basadas en rangos salariales y precios promedio de mercado 2024–2025; estarán sujetos a ajuste según cotizaciones específicas al momento de la implementación.

8. Conclusiones

El desarrollo del proyecto permitió cumplir de manera satisfactoria el objetivo general, al diseñar un modelo de red híbrida de telecomunicaciones que integra radiofrecuencia y fibra óptica, alineado con lineamientos técnicos, normativos y de inclusión digital [1], [3], [5], [7], [8], y adaptado a las condiciones geográficas, sociales y económicas de la vereda Chocoita, en el municipio de Girón (Santander). La solución propuesta demostró ser técnica y operativamente viable para proporcionar conectividad estable y sostenible en un entorno rural con limitaciones estructurales.

En relación con el primer objetivo específico, se logró diagnosticar el estado actual de la infraestructura y las condiciones de conectividad de la vereda Chocoita mediante recorridos de campo, análisis topográfico, evaluación de línea de vista y revisión de infraestructura existente [2], [3], [11]. Este diagnóstico permitió identificar de forma precisa las principales limitaciones técnicas, geográficas y sociales que afectan la prestación del servicio, evidenciando la ausencia de redes troncales cercanas, la baja cobertura móvil y las dificultades del terreno para soluciones convencionales.

Respecto al segundo objetivo específico, se estructuró una arquitectura de red híbrida FO–RF que define claramente la topología física y lógica del sistema, los componentes tecnológicos empleados y los parámetros operativos necesarios para garantizar estabilidad, cobertura y

capacidad de expansión [10], [12], [14], [17]. El diseño incorporó una red GPON para la distribución local mediante fibra óptica aérea y enlaces de radiofrecuencia como solución de transporte troncal, optimizando recursos existentes y permitiendo una implementación escalable y eficiente en contextos rurales.

En cuanto al tercer objetivo específico, se evaluó la viabilidad técnica, operativa y normativa del diseño propuesto a través de cálculos de capacidad, estimaciones de tráfico, pruebas de desempeño y verificación del cumplimiento de la normativa vigente [5], [8], [9]. Los resultados obtenidos evidencian que el modelo planteado cumple con los parámetros técnicos exigidos y presenta un alto potencial de replicabilidad en otras veredas del municipio de Girón y en zonas rurales con características similares.

Finalmente, el proyecto demuestra que la combinación estratégica de tecnologías de fibra óptica y radiofrecuencia constituye una alternativa sólida para reducir la brecha digital en territorios rurales, promoviendo el acceso a servicios educativos, productivos y sociales [1], [3], [11]. Asimismo, aporta un modelo técnico–aplicado que puede servir como referencia para futuras iniciativas de conectividad rural, fortaleciendo tanto el impacto social como el aporte académico en el área de las telecomunicaciones.

9. Trabajo Futuro

El trabajo futuro se concibe como la proyección y continuidad del proyecto, tanto en el ámbito académico como en el profesional. Entre las líneas de trabajo a desarrollar se encuentran:

- Diseño y ejecución de fases posteriores de implementación, validación y pruebas de campo en condiciones reales de operación.
- Integración de nuevas metodologías y tecnologías emergentes que optimicen el rendimiento de la red, como IoT rural, 5G o redes mesh [28].
- Estudios de impacto socioeconómico y ambiental derivados de la mejora en conectividad [29].
- Ampliación del modelo a otras veredas de Girón y a comunidades rurales de Santander, asegurando su replicabilidad [30].

Este enfoque permitirá profundizar en la investigación aplicada, abrir nuevas oportunidades de innovación y consolidar la sostenibilidad del proyecto en el largo plazo.

Referencias

[1] Organización de las Naciones Unidas, *Objetivos de desarrollo sostenible*. Naciones Unidas, 2015.

[2] Departamento Administrativo Nacional de Estadística, *Indicadores de acceso y uso de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en hogares y personas – 2023*. DANE, Bogotá, Colombia, 2023.

[3] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, *Transformación digital en áreas rurales*. Paris, France: OECD Publishing, 2020.

[4] Unión Internacional de Telecomunicaciones, *Conectividad inclusiva y sostenible: Lineamientos para zonas rurales*. UIT, 2022.

[5] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, *Plan TIC 2022–2026: Conectividad para todos*. MinTIC, 2022.

[6] Comisión de Regulación de Comunicaciones, *Resolución CRC 5050 de 2016: Régimen integral de protección de los derechos de los usuarios de los servicios de comunicaciones*. CRC, Colombia, 2016.

[7] Congreso de la República de Colombia, *Ley 1341 de 2009: Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las TIC en Colombia*. Diario Oficial No. 47.426, 2009.

[8] Congreso de la República de Colombia, *Ley 1978 de 2019: Por la cual se moderniza el sector TIC en Colombia*. Diario Oficial No. 51.017, 2019.

[9] Congreso de la República de Colombia, *Ley 2108 de 2021: Por medio de la cual se modifica la Ley 1341 de 2009 y se reconoce el acceso a internet como un derecho fundamental*. Diario Oficial No. 51.567, 2021.

[10] J. Cruz and F. Martínez, “Redes híbridas en telecomunicaciones para zonas rurales: Retos y soluciones,” *Revista Colombiana de Ingeniería*, vol. 15, no. 2, pp. 45–62, 2021.

[11] IEEE Communications Society, “Wireless for rural broadband,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 10, pp. 55–62, 2020.

[12] IEEE Standards Association, *IEEE Std 802.3ah-2019: Ethernet in the First Mile*. IEEE, 2019.

[13] International Telecommunication Union, *Broadband in Developing Countries: Guidelines and Best Practices*. ITU, 2021.

[14] Huawei Technologies, *FTTH Solution: Technical Overview*, White Paper. Huawei Technologies, 2022.

[15] Huawei Technologies Co., Ltd., *MA5800 Series: Carrier Product Document*. [Online]. Available: <https://carrier.huawei.com/~media/cnbgv2/download/products/networks/ma5800-en.pdf>. Accessed: 2021.

[16] Huawei Technologies Co., Ltd., *EchoLife HG8546M: Product Support and Technical Information*. [Online]. Available: <https://support.huawei.com/enterprise/es/access-network/echolife-hg8546m-pid-21465065>. Accessed: n.d.

[17] Cisco Systems, “Understanding the Differences Between OM4 and OM5 Multimode Fiber,” White Paper, Cisco Systems, Jun. 2022. [Online]. Available:

<https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/interfaces-modules/transceiver-modules/diff-om4-om5-multimode-fiber-wp.html>.

- [18] Cambium Networks, *PTP 4600 Series: Technical Specifications*, Technical Datasheet. Cambium Networks, 2021.
- [19] MikroTik, *RouterOS Documentation*. MikroTik, 2022.
- [20] Ubiquiti Networks, *airMAX Sector Antennas*, Datasheet. Ubiquiti Inc., 2021.
- [21] Ubiquiti Networks, *LiteBeam AC Gen2*, Datasheet. [Online]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/LiteBeam/LiteBeam_AC_Gen2_DS.pdf. Accessed: 2021.
- [22] ATK Colombia, *Bobina de fibra óptica ADSS 12/24/48 hilos: Producto y especificaciones*. [Online]. Available: <https://www.atkcolombia.com.co/producto/fibra-adss-12-hilos-span-100-de-5km/>. Accessed: n.d.
- [23] ATK Colombia, *Caja NAP 1×16 IP68: Producto y especificaciones*. [Online]. Available: <https://www.atkcolombia.com.co/producto/caja-nap-1x16-ip68/>. Accessed: n.d.
- [24] Ineldec, *Panel solar 460 W: Producto y especificaciones*. [Online]. Available: <https://ineldec.com/producto/panel-solar-460w/>. Accessed: n.d.
- [25] Ineldec, *Controlador de carga solar MPPT EPEver: Producto y especificaciones*. [Online]. Available: <https://ineldec.com/producto/controlador-de-carga-solar-regulador-mppt-epever/>. Accessed: n.d.
- [26] Integración Solar, *Batería AGM 200 Ah 12 V: Producto y especificaciones*. [Online]. Available: <https://integracionsolar.co/bateria-agm-200ah-12v-kaise/>. Accessed: n.d.
- [27] WispHub, *Guía de administración y facturación de ISPs, Manual Técnico*. WispHub, 2022.

[28] L. Salazar, Implementación de redes GPON en entornos rurales colombianos, Undergraduate Thesis, Universidad Nacional de Colombia, 2020.

[29] P. Ramos, A. López, and D. Herrera, “Sistemas de energía autónoma para telecomunicaciones rurales,” *Journal of Renewable Energy*, vol. 8, no. 3, pp. 101–118, 2020.

[30] A. Sánchez and G. Torres, “Desafíos de la conectividad en regiones apartadas de Latinoamérica,” *Revista Latinoamericana de Tecnología*, vol. 12, no. 1, pp. 22–34, 2019.

[31] OpenAI, *ChatGPT (September 2024 version)*, Language Model. [Online].

ANEXOS


Implementación de red híbrida FO–RF entre Palogordo y Chocoita


Autor: Christian Gabriel Martínez Martínez


Universidad Santo Tomas


Programa: Ingeniería Telecomunicaciones


Año: 2025

OLT Huawei MA5800-X15		
Parámetro	Especificación	Imagen
Marca / Modelo	Huawei MA5800-X15	<p>Figura A.1. OLT Huawei MA5800-X15 utilizada en la red GPON - Fuente: Huawei Technologies Co., Ltd. (2021).</p> 
Tipo	OLT multiservicio GPON / XG-PON	
Capacidad	Hasta 15 slots de servicio	
Tarjetas soportadas	GPON, XG-PON, XGS-PON	
Usuarios por tarjeta	128 (GPON)	
Uplink	10GE / 40GE	
Redundancia	Fuente y controladoras duales	
Temperatura de operación	-40 a 65 °C	
Montaje	Rack 19"	


ONU Huawei HG8546M		
Parámetro	Especificación	Imagen
Tipo	ONU óptica doméstica GPON	 <p>Figura A.2. ONU Huawei EchoLife HG8546M utilizada en el punto de usuario de la red GPON. - Fuente: Huawei Technologies Co., Ltd. (s. f.).</p>
Puertos LAN	4 × Ethernet 10/100/1000	
Wi-Fi	2.4 GHz / IEEE 802.11b/g/n	
Potencia óptica	-1 a -27 dBm	
Alimentación	12 V – 1 A	
Uso	Cliente final (CPE)	

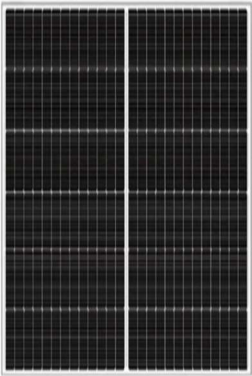
Radios LiteBeam AC Gen2		
Parámetro	Especificación	Imagen
Marca / Modelo	Ubiquiti LiteBeam AC Gen2	 <p>Figura A.3. Radio Ubiquiti LiteBeam AC Gen2 empleado en el enlace inalámbrico FO-RF. Fuente: Ubiquiti Networks (2021).</p>
Frecuencia	5 GHz	
Ancho de canal	20/40/80 MHz	
Throughput	Hasta 450+ Mbps	
Distancia PtP	10–15 km	
Ganancia	23 dBi	
Gestión	AirOS 8 / AirLink	
Montaje	Torre / Poste	


Router de backhaul MikroTik (NV2 / NStreme)		
Parámetro	Especificación	Imagen
Marca / Modelo	MikroTik RouterBOARD (según instalación)	 <p>Figura A.4. Router de backhaul MikroTik RB941-2nD-TC empleado en la gestión del enlace inalámbrico (NV2 / Nstreme). Fuente: MikroTik (s. f.).</p>
Protocolo	NV2 TDMA	
Modulación	MCS0–MCS7	
Puertos	Gigabit Ethernet	
Máximo throughput	300+ Mbps	
Funciones	VLAN, QoS, Firewall, Bridge	


Bobina de fibra óptica ADSS 12/24/48 hilos		
Parámetro	Especificación	Imagen
Tipo	ADSS (All-Dielectric Self-Supporting)	 <p>Figura A.5. Bobina de fibra óptica ADSS de 12/24/48 hilos empleada en el tendido de la red FO. Fuente: ATK Colombia (s. f.).</p>
Hilos	12, 24 o 48	
Atenuación	0.32 dB/km (1310 nm)	
Chaqueta	PE resistente a UV	
Uso	Tendido aéreo en poste	


Cajas NAP y muflas IP68		
Parámetro	Especificación	Imagen
Tipo	NAP 8/16/24 puertos	 <p>Figura A.6. Cajas NAP y muflas IP68 utilizadas en la infraestructura pasiva de la red FO. Fuente: ATK Colombia (s. f.).</p>
Protección	IP67–IP68	
Entradas	2 a 4	
Salidas	8 a 24 drop cables	
Uso	Derivación y protección de empalmes	


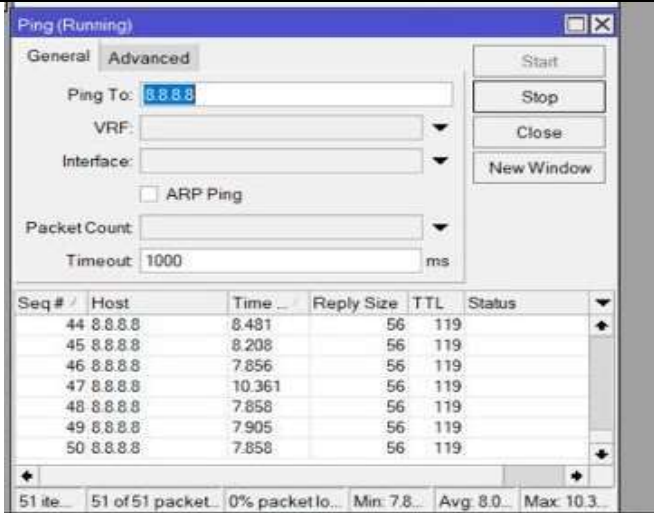
Splitters ópticos		
Parámetro	Especificación	Imagen
Tipo	PLC 1:8 / 1:16	 <p>Figura A.7. Splitter óptico 1×16 con conector SC/APC utilizado en la distribución óptica de la red GPON. <i>Fuente: Macrotics (s. f.).</i></p>
Pérdida	10.5 dB (1:8) / 13.5 dB (1:16)	
Longitud de onda	1260–1650 nm	
Conectores	SC/APC	

Paneles solares – Nodo RF		
Parámetro	Especificación	Imagen
Tipo	Monocrystalino	 <p>Figura A.8. Panel solar de 460 W utilizado en el nodo de radiofrecuencia para alimentación energética de la estación. <i>Fuente: Ineldec (s. f.).</i></p>
Potencia	450 W c/u	
Voltaje	24–48 V (según arreglo)	
Soporte	Estructura metálica en torre	

Controlador solar MPPT		
Parámetro	Especificación	Imagen
Tipo	MPPT 30–60 A	 <p>Figura A.9. Controlador solar MPPT EPEver utilizado para la regulación de carga en el sistema de alimentación del nodo. <i>Fuente: Ineldec (s. f.).</i></p>
Voltaje	12/24/48 V automático	
Función	Gestión de carga hacia baterías	

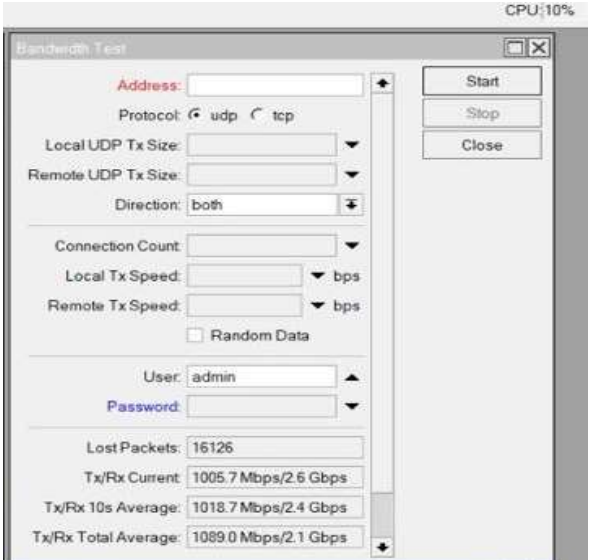
Baterías AGM / Gel		
Parámetro	Especificación	Imagen
Capacidad	100–200 Ah	 <p>Figura A.10. Baterías AGM/Gel de 200 Ah 12 V utilizadas en el sistema de respaldo energético del nodo. <i>Fuente: Integración Solar (s. f.)</i></p>
Tipo	AGM / Gel	
Uso	Energía para torre + nodo RF	

Gabinete metálico de exterior (rack de telecomunicaciones)		
Parámetro	Especificación	Imagen
Tamaño	22U–26U	 <p>Figura A.11. Gabinete metálico de exterior (rack de telecomunicaciones) utilizado para la organización y protección de equipos activos y pasivos. <i>Fuente: Lasus (s. f.).</i></p>
Material	Acero galvanizado	
Protección	IP55	
Componentes internos	ODF, OLT, routers, baterías	
Ventilación	Pasiva y activa	
Montaje	Piso / poste / torre	

Prueba	Métrica	Resultado	Observación
Speedtest	Descarga	947 Mbps	Dentro de capacidad GPON
Speedtest	Subida	907 Mbps	 <p>Enlace balanceado</p>
Ping	Latencia promedio	8 ms	 <p>Estable</p>
Ping	Pérdida	0%	Sin pérdidas
Tráfico	Throughput TX	~1 Gbps	Tráfico sostenido

Pico agregado

Tráfico Throughput RX ~2.6 Gbps



The screenshot shows a 'Bandwidth Test' window with the following details:

- Address:** [Empty field]
- Protocol:** udp tcp
- Local UDP Tx Size:** [Empty field]
- Remote UDP Tx Size:** [Empty field]
- Direction:** both
- Connection Count:** [Empty field]
- Local Tx Speed:** [Empty field] bps
- Remote Tx Speed:** [Empty field] bps
- Random Data
- User:** admin
- Password:** [Empty field]
- Lost Packets:** 16126
- Tx/Rx Current:** 1005.7 Mbps/2.6 Gbps
- Tx/Rx 10s Average:** 1018.7 Mbps/2.4 Gbps
- Tx/Rx Total Average:** 1089.0 Mbps/2.1 Gbps

CPU: 10%

A Smarter Way for Your Broadband Life

Huawei HG8546M, an intelligent routing-type ONT

Smart
service

Smart
interconnection

Smart O&M



○ Device Parameters

Dimensions (HxWxD)	176mm x 138mm x 28mm
Weight	< 500g
Operating temperature	0°C ~ +40°C
Operating humidity	5% RH ~ 95% RH , (non-condensing)
Power adapter input	150V ~ 264V AC , 50Hz ~ 60Hz
System power supply	11V ~ 14V DC , 1A
Static power consumption	4.5W
Maximum power consumption	12W
Ports	1POTS + 4FE + Wi-Fi + USB
Indicators	POWER/PON/LOS/LAN/TEL/USB/WLAN/WPS

○ Interface Parameters

GPON Port	<ul style="list-style-type: none"> • Class B+ • Receiver sensitivity: -27dBm • Wavelengths: US 1310nm, DS 1490nm • WBF • Flexible mapping between GEM Port and TCONT • GPON: consistent with the SN or password authentication defined in G.984.3 • Bi-directional FEC • SR-DBA and NSR-DBA
Ethernet Port	<ul style="list-style-type: none"> • Ethernet port-based VLAN tags and tag removal • 1:1 VLAN, N:1 VLAN, or VLAN transparent transmission • QinQ VLAN • Limit on the number of learned MAC addresses • MAC address learning
POTS Port	<ul style="list-style-type: none"> • Maximum REN: 4 • G.711A/μ, G.729a/b, and G.722 encoding/decoding • T.30/T.38/G.711 fax mode • DTMF • Emergency calls (with the SIP protocol)
WLAN	<ul style="list-style-type: none"> • IEEE 802.11 b/g/n • 2 x 2 MIMO • Antenna gain: 2 dBi • WMM • Multiple SSIDs • WPS
USB Port	<ul style="list-style-type: none"> • USB2.0 • FTP-based network storage

○ Product Function

Smart Interconnection

- Smart Wi-Fi coverage (V300R015C10)
- SIP/H.248 auto-negotiation
- Any port any service
- Parental control (V300R015C00)

Smart Service

- Smart Wi-Fi sharing: Portal, 802.1x authentication (V300R015C10)
- Soft GRE-based sharing (V300R015C10)
- One account

Smart O&M

- IPTV video quality diagnosis (V300R015C10)
- Variable-length OMCI messages
- Active/Passive rogue ONT detection and isolation
- Call emulation, and circuit test and loop-line test
- PPPoE/DHCP simulation testing
- WLAN emulation

Layer 3 Features

- PPPoE/Static IP/DHCP
- NAT/NAPT
- Port forwarding
- ALG, UPnP
- DDNS/DNS server/DNS client
- IPv6/IPv4 dual stack, and DS-Lite
- Static/Default routes
- Multiple services on one WAN port

Multicast

- IGMP v2/v3 snooping
- IGMP v2 proxy
- IGMP v3 proxy (V300R015C00)
- MLD v1/v2 snooping
- Multicast services through Wi-Fi

Qos

- Ethernet port rate limitation
- 802.1p priority
- SP/WRR/SP+WRR
- Broadcast packet rate limitation

Security

- SPI firewall
- Filtering based on MAC/IP/URL addresses

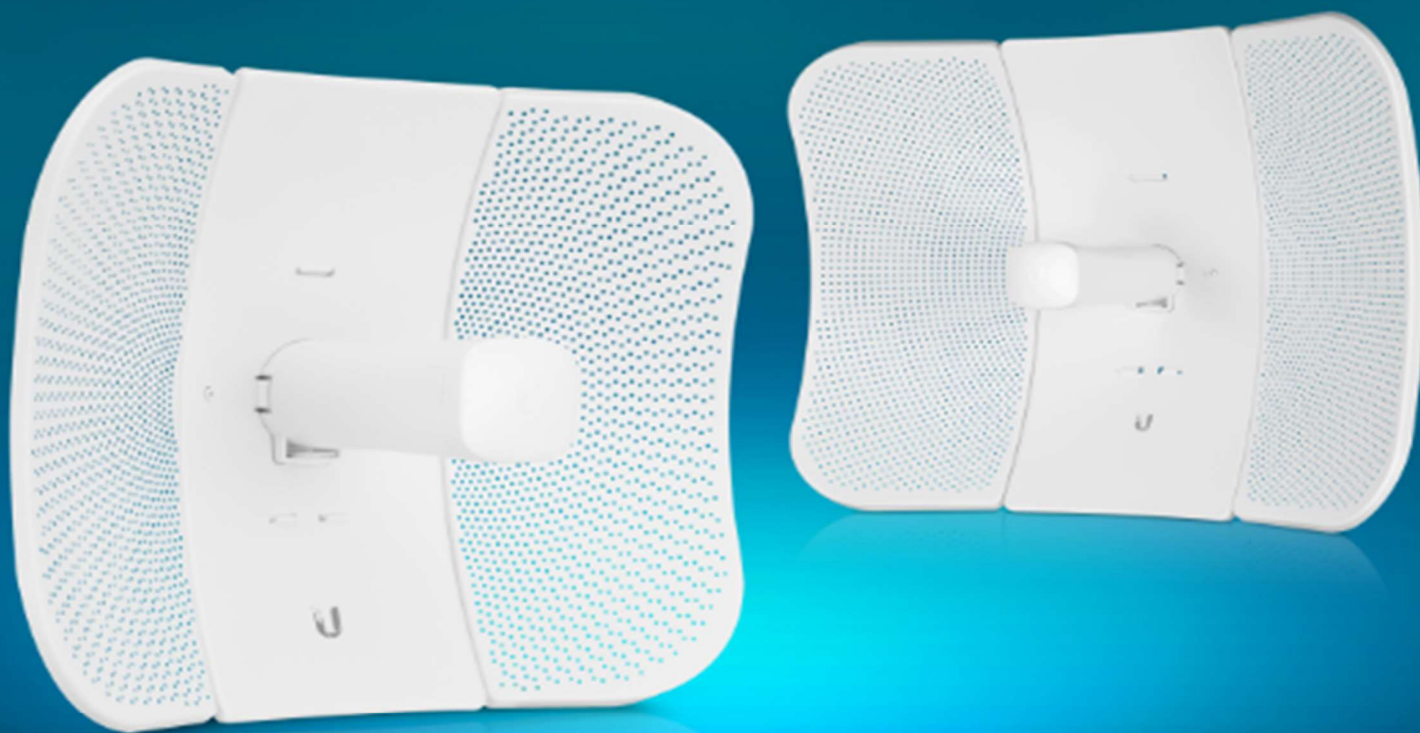
Common O&M

- OMCI/Web UI/TR069
- Dual-system software backup and rollback

Power Saving

- Dynamic power saving
- Indicator power saving
- Scheduled Wi-Fi shutdown (V300R015C00)

DATASHEET



LiteBeam[®] AC GEN2

airMAX[®] ac CPE with Dedicated Management Radio

Model: LBE-5AC-Gen2, LBE-5AC-LR

Lightweight, Low-Cost Solution

Full Adjustment Flexibility

Quick Assembly and Installation



Overview

Ubiquiti Networks launches the latest generation of airMAX[®] CPE (Customer Premises Equipment), the LiteBeam[®] SAC Gen 2, with dedicated Wi-Fi management.

Improved Noise Immunity

The LiteBeam SAC Gen 2 directs RF energy in a tighter beamwidth. With the focus in one direction, the LiteBeam SAC Gen 2 blocks or spatially filters out noise, so noise immunity is improved. This feature is especially important in an area crowded with other RF signals of the same or similar frequency.

Innovative Design

Ubiquiti's InnerFeed[®] technology integrates the radio into the feedhorn of an antenna, so there is no need for a cable. This improves performance because it eliminates cable losses.

Featuring high performance and innovative mechanical design, the LiteBeam SAC Gen 2 is versatile and cost-effective to deploy.

Software

airOS[®] 8

airOS[®] v8 is the revolutionary operating system for Ubiquiti[®] airMAX ac products.

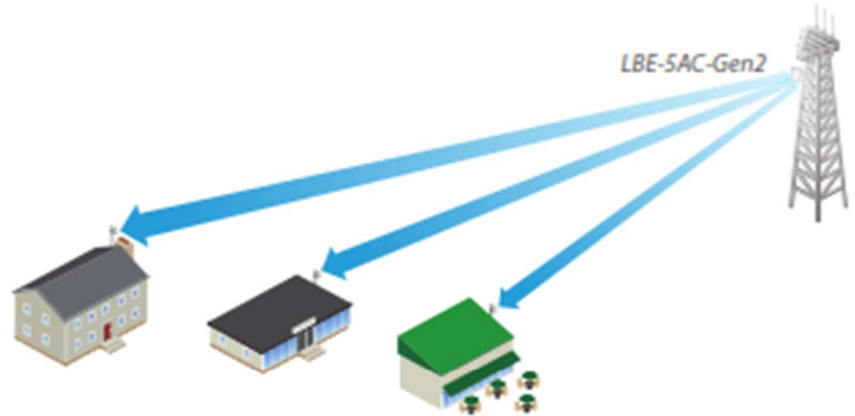
Powerful Wireless Features

- Access Point PtMP airMAX Mixed Mode
- airMAX ac Protocol Support
- Long-Range Point-to-Point (PtP) Link Mode
- Selectable Channel Width
 - PtP: 10/20/30/40/50/60/80 MHz
 - PtMP: 10/20/30/40 MHz
- Automatic Channel Selection
- Transmit Power Control: Automatic/Manual
- Automatic Distance Selection (ACK Timing)
- Strongest WPA2 Security

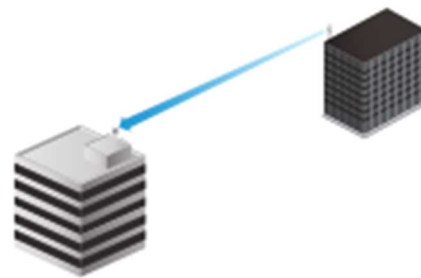
Usability Enhancements

- airMagic[®] Channel Selection Tool
- Redesigned User Interface
- Dynamic Configuration Changes
- Instant Input Validation
- HTML5 Technology
- Optimization for Mobile Devices
- Detailed Device Statistics
- Comprehensive Array of Diagnostic Tools, including RF Diagnostics and airView[®] Spectrum Analyzer

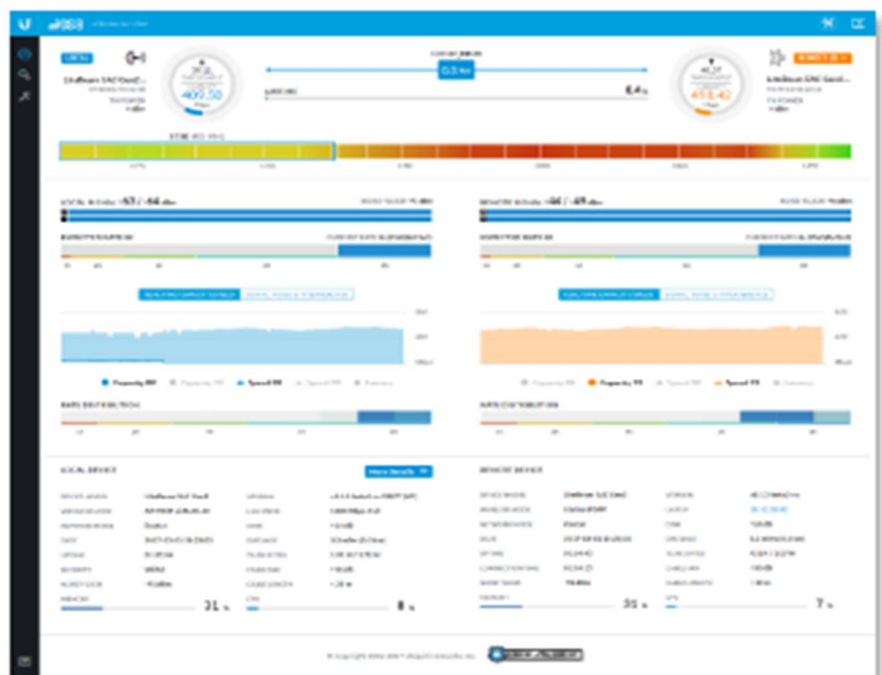
Application Examples



LiteBeam as a cost-effective WISP deployment in an airMAX ac Point-to-MultiPoint network.



A LiteBeam on each side of a Point-to-Point link.



UNMS App

The LiteBeam SAC Gen 2 integrates a separate Wi-Fi radio for fast and easy setup using your mobile device.

Accessing airOS via Wi-Fi

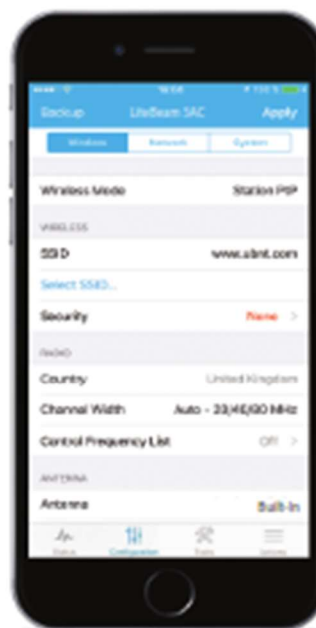
The UNMS™ app provides instant accessibility to the airOS configuration interface and can be downloaded from the App Store (iOS) or Google Play™ (Android). UNMS allows you to set up, configure, and manage the LiteBeam SAC Gen 2. It offers the following options once you're connected or logged in to the device:

Status Check link status information or the basic configuration settings of the LiteBeam SAC Gen 2.

Configuration Change or update the existing configuration of the LiteBeam SAC Gen 2.

Tools Access tools for initial installation and configuration of the LiteBeam SAC Gen 2.

Actions Back up or update the configuration, upload new firmware, reboot the device, reset the device to factory defaults, access the airOS UI in the web browser, or disconnect from the LiteBeam SAC Gen 2.



Models

The LiteBeam SAC Gen 2 offers quick and easy alignment and enhanced protection against power surges. There are two models available:

LiteBeam® AC GEN2

Model: LBE-5AC-Gen2

The LBE-5AC-Gen2 features a robust mount with separate azimuth and elevation adjustments.



LiteBeam® AC LR

Model: LBE-5AC-LR

Designed for long-range applications, the LBE-5AC-LR features a larger reflector size and elevation adjustment (azimuth is adjusted by rotation around the pole).



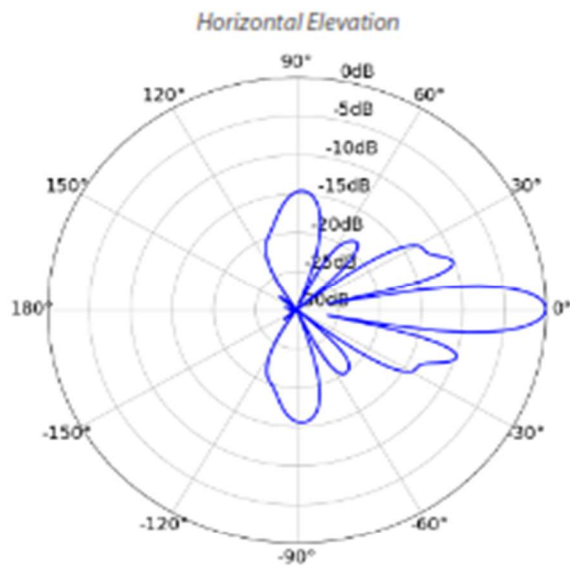
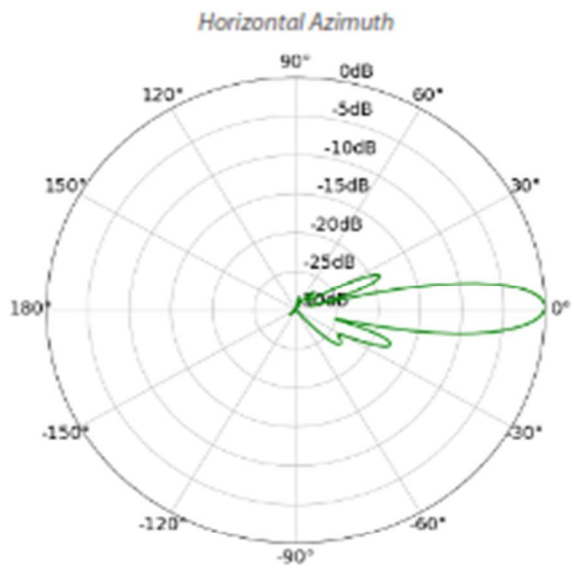
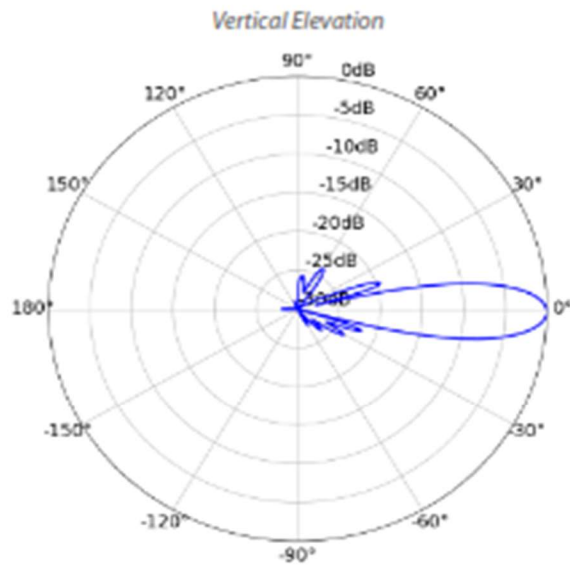
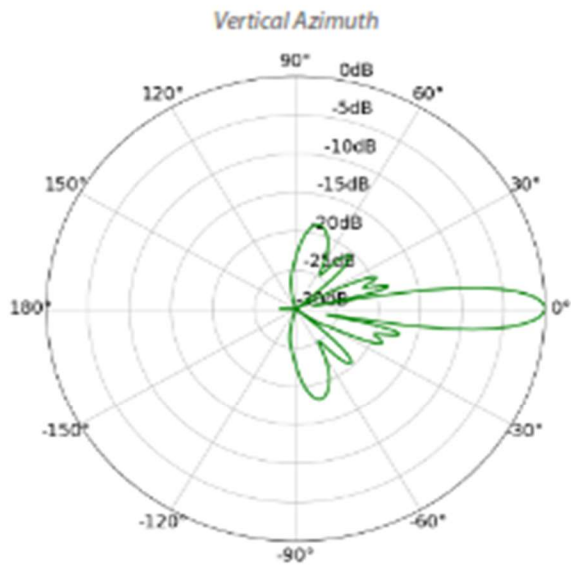
Specifications

LBE-5AC-Gen2		
Dimensions	358 x 271.95 x 272.5 mm (14.09 x 10.71 x 10.73")	
Weight	800 g (1.76 lb)	
Without Mount	980 g (2.16 lb)	
With Mount		
Power Supply	24V, 0.3A Gigabit PoE Adapter (Included)	
Max. Power Consumption	7W	
Power Method	Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)	
Supported Voltage Range	24V ± 10%	
Gain	23 dBi	
Networking Interface	(1) 10/100/1000 Ethernet Port	
Processor Specs	MIPS 74Kc	
Memory	64 MB DDR2	
LEDs	Power, Ethernet	
Channel Sizes	PtP Mode	PtMP Mode
	10/20/30/40/50/60/80 MHz	10/20/30/40 MHz
Enclosure Characteristics	Reflector (SGCC 0.6T) / Plastic: PC	
Mounting	Pole-Mounting Kit (Included)	
Wind Loading	275 N @ 200 km/h (61.8 lbf @ 125 mph)	
Wind Survivability	200 km/h (125 mph)	
ESD/EMP Protection	± 24 kV Contact / Air	
Operating Temperature	-40 to 70° C (-40 to 158° F)	
Operating Humidity	5 to 95% Noncondensing	
Certifications	CE, FCC, IC	

Operating Frequency (MHz)				
Worldwide	5150 - 5875			
US/CA	U-NII-1: 5150 - 5250	U-NII-2A: 5250 - 5350 MHz	U-NII-2C: 5470 - 5725 MHz	U-NII-3: 5725 - 5850

Management Radio (MHz)	
Worldwide	2412 - 2472
US/CA	2412 - 2462

LBE-5AC-Gen2 Output Power: 25 dBm							
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
airMAX^{ac}	1x BPSK (1/2)	25 dBm	± 2 dB	airMAX^{ac}	1x BPSK (1/2)	-96 dBm Min.	± 2 dB
	2x QPSK (1/2)	25 dBm	± 2 dB		2x QPSK (1/2)	-95 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (3/4)	25 dBm	± 2 dB		2x QPSK (3/4)	-92 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (1/2)	25 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (1/2)	-90 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (3/4)	25 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (3/4)	-86 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (1/2)	25 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (1/2)	-83 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (3/4)	24 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (3/4)	-77 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (1/4)	23 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (1/4)	-74 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (1/4)	21 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (1/4)	-69 dBm	± 2 dB
8x 256QAM (1/8)	21 dBm	± 2 dB	8x 256QAM (1/8)	-65 dBm	± 2 dB		



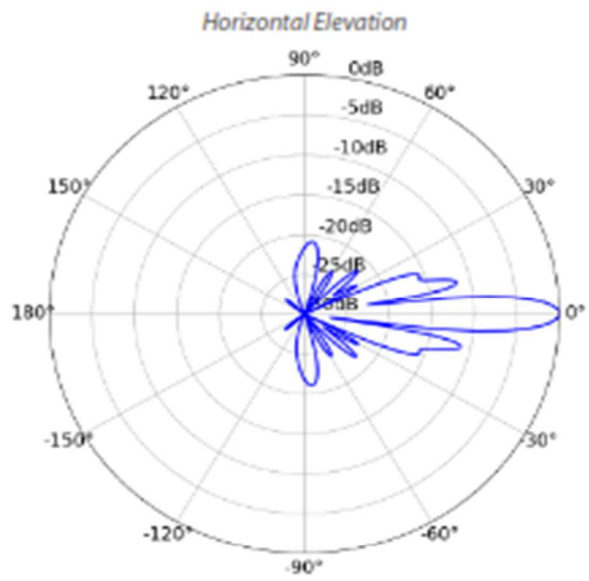
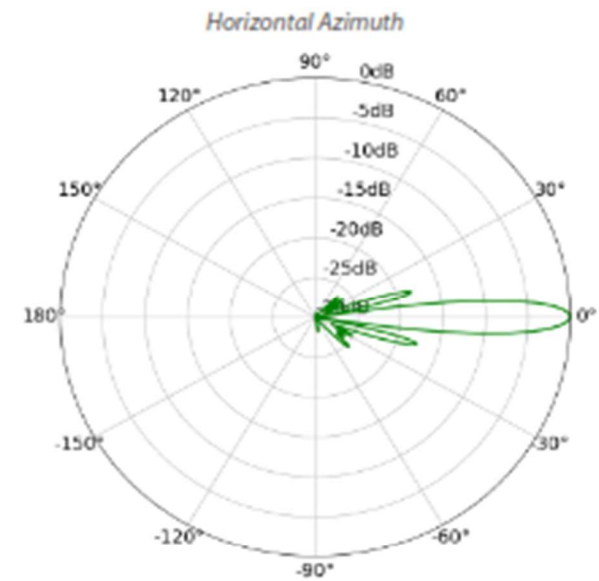
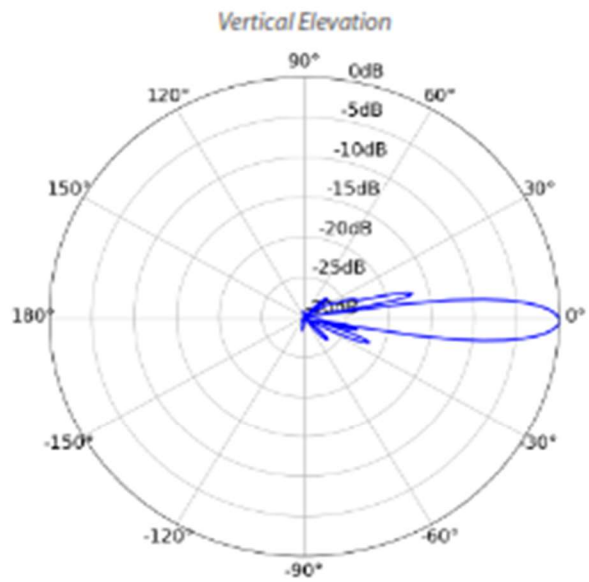
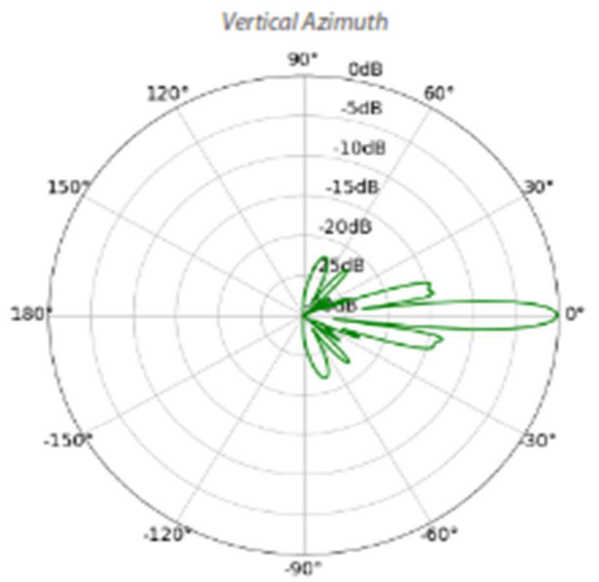
Specifications

LBE-5AC-LR		
Dimensions	512.5 x 385.75 x 258.3 mm (20.18 x 15.19 x 10.17")	
Weight	1.360 kg (2.998 lb)	
Without Mount	1.735 kg (3.825 lb)	
With Mount		
Power Supply	24V, 0.3A Gigabit PoE Adapter (Included)	
Max. Power Consumption	7W	
Power Method	Passive PoE (Pairs 4, 5+; 7, 8 Return)	
Supported Voltage Range	24V ± 10%	
Gain	26 dBI	
Networking Interface	(1) 10/100/1000 Ethernet Port	
Processor Specs	MIPS 74Kc	
Memory	64 MB DDR2	
LEDs	Power, Ethernet	
Channel Sizes	PtP Mode 10/20/30/40/50/60/80 MHz	PtMP Mode 10/20/30/40 MHz
Enclosure Characteristics	Reflector (Aluminum) / Plastic: PC	
Mounting	Pole-Mounting Kit (Included)	
Wnd Loading	550 N @ 200 km/h (123.6 lbf @ 125 mph)	
Wnd Survivability	200 km/h (125 mph)	
ESD/EMP Protection	± 24 kV Contact / Air	
Operating Temperature	-40 to 70° C (-40 to 158° F)	
Operating Humidity	5 to 95% Noncondensing	
Certifications	CE, FCC, IC	

Operating Frequency (MHz)				
Worldwide	5150 - 5875			
US/CA	U-NII-1: 5150 - 5250	U-NII-2A: 5250 - 5350 MHz	U-NII-2C: 5470 - 5725 MHz	U-NII-3: 5725 - 5850

Management Radio (MHz)	
Worldwide	2412 - 2472
US/CA	2412 - 2462

LBE-5AC-LR Output Power: 25 dBm							
TX Power Specifications				RX Power Specifications			
Modulation	Data Rate	Avg. TX	Tolerance	Modulation	Data Rate	Sensitivity	Tolerance
airMAX ac	1x BPSK (1/2)	25 dBm	± 2 dB	airMAX ac	1x BPSK (1/2)	-96 dBm Min.	± 2 dB
	2x QPSK (1/2)	25 dBm	± 2 dB		2x QPSK (1/2)	-95 dBm	± 2 dB
	2x QPSK (3/4)	25 dBm	± 2 dB		2x QPSK (3/4)	-92 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (1/2)	25 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (1/2)	-90 dBm	± 2 dB
	4x 16QAM (3/4)	25 dBm	± 2 dB		4x 16QAM (3/4)	-86 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (1/4)	25 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (1/4)	-83 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (3/4)	24 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (3/4)	-77 dBm	± 2 dB
	6x 64QAM (1/4)	23 dBm	± 2 dB		6x 64QAM (1/4)	-74 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (3/4)	21 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (3/4)	-69 dBm	± 2 dB
	8x 256QAM (1/4)	21 dBm	± 2 dB		8x 256QAM (1/4)	-65 dBm	± 2 dB



Specifications are subject to change. Ubiquiti products are sold with a limited warranty described at: www.ubnt.com/support/warranty
 The limited warranty requires the use of arbitration to resolve disputes on an individual basis, and, where applicable, specify arbitration instead of jury trials or class actions.
 ©2017-2019 Ubiquiti Networks, Inc. All rights reserved. Ubiquiti, Ubiquiti Networks, the Ubiquiti U logo, the Ubiquiti beam logo, airMAX, airOS, airMagic, InnerFeed, LiteBeam, and UNMS are trademarks or registered trademarks of Ubiquiti Networks, Inc. in the United States and in other countries. All other trademarks are the property of their respective owners.





All-optical Access Platform OLT

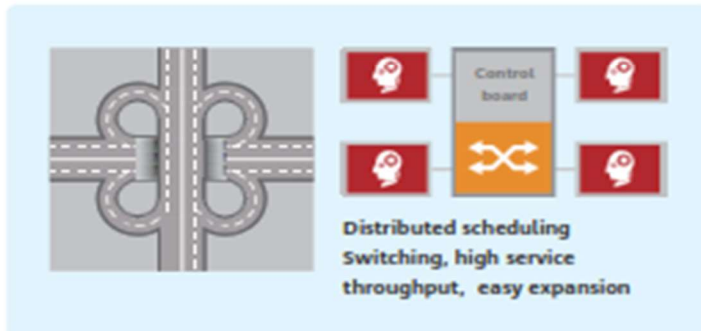
SmartAX MA5800

Best OLT Platform in the Gigabit Ultra-broadband Era

- ◆ The MA5800 series multi-service access device is the first OLT in the industry with distributed architecture. It provides a unified carrying platform for multiple services, such as broadband, wireless, video, and monitoring.
- ◆ The MA5800 provides GPON, XG-PON, XGS-PON, and 10GE/GE access, and supports FTTH, FTTD, FTTB, and FTTC network construction modes. This makes it applicable to home access, enterprise access, mobile backhaul, and Wi-Fi hotspot backhaul scenarios.

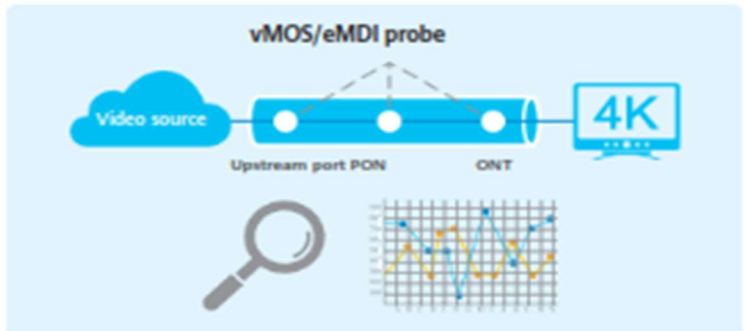
Distributed Architecture

Service processing, previously centered on the control board, is now distributed to every service board. The system switching capacity and performance are improved, with the throughput of a single slot reaching up to 200 Gbit/s. This ensures smooth services and supports faster HD video startup and channel zapping.



Superior 4K/8K Video Experience

Distributed large caches prevent burst video packet loss. Built-in vMOS/eMDI probes monitor video quality and locate fault remotely. Online PON board upgrade without video interruption brings a better user experience.



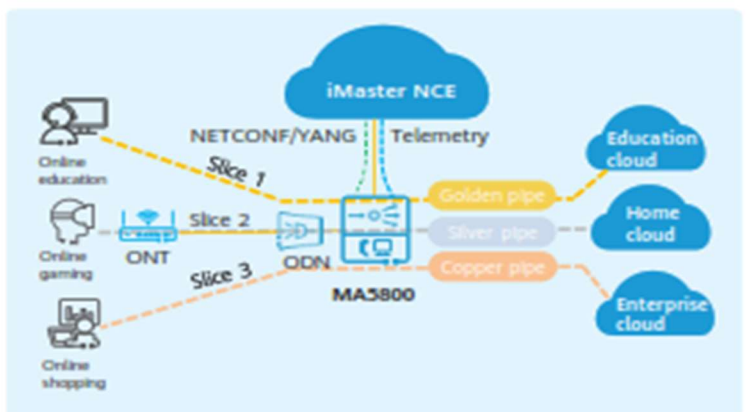
Flex-PON

A Flex-PON board supports GPON, XG(S)-PON, XGS-PON, and XG(S)-PON combo with the corresponding optical module, and reduces OPEX by smooth evolution without board replacement.






Slicing Technology

The E2E slicing technology provides differentiated bearing for services with different SLA requirements, achieving application-level bandwidth and latency commitment.



Product Specifications

Product Indicator	 MAS800-X17	 MAS800-X15	 MAS800-X7
H x W x D (mm)	486 x 493 x 287	486 x 442 x 287	263.9 x 442 x 268.7
Payload switching capacity of the control board	MPLA/MPLB: 7 Tbit/s MPLG: 7.3 Tbit/s		
Maximum payload bandwidth per service slot	200 Gbit/s		
Number of concurrent 4K video users	16000		8000
Power supply mode	DC power supply (dual for backup)		
Rated voltage	-48 V/-60 V		
Ambient temperature	-40 °C to +65 °C* (normal operation) Minimum startup temperature: -25 °C * +65°C indicates the temperature of the air intake vent of the service subrack.		
GPON/XG-PON/ XGS-PON ports	16 x 17 = 272	16 x 15 = 240	16 x 7 = 112
Upstream ports (Dual control boards for upstream transmission)	MPLA/MPLB: 8 x 10GE/GE MPLG: 2 x 100GE + 4 x 10GE/GE		

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2021. All rights reserved.

General disclaimer

The information in this document may contain predictive statements including, without limitation, statements regarding the future financial and operating results, future product portfolio, new technology, etc. there are a number of factors that could cause actual results and developments to differ materially from those expressed or implied in the predictive statements. Therefore, such information is provided for reference purpose only and constitutes neither an offer nor an acceptance. Huawei may change the information at any time without notice.

MikroTik

PROPRIETARY WIRELESS PROTOCOLS

N-Streme and Nv2

Blinknet...
Wireless Communication Services

MikroTik

Soumil Gupta Bhaya

MTCNA , MTCRE, MTCWE, MTCTCE

Binknet Solutions Pvt. Ltd.
Kolkata, India.

MikroTik

Blinknet...
Wireless Communication Services

Saturday, August 25, 2012

3

MUM INDIA 2012 – Soumil Gupta Bhaya

Nstreme and NV2 are Wireless Protocols created by Mikrotik to improve Point to Point and Point to Multi Point Wireless links.

Objective: To make an understanding of n-streme, and Nv2 protocol, How it is an improvement over Standard 802.11x, and application of Nv2 in our classroom so as to replicate an outdoor point-to-multipoint scenario.

Blinknet...
Wireless Communication Services

MikroTik

Saturday, August 25, 2012

4

MUM INDIA 2012 – Soumil Gupta Bhaya

Class Setup:

Please Set your Routers to Default Configuration using “system reset-configuration” in terminal window.

Set your Radio name to “your name_xx” starting from the Left Serially, starting with xx=11. So first person on the left will be name_11.

Setup your LAN ip to be 192.168.xx.1/24 in your laptop and . 254 in your router.

Please Set your routers to connect with Class Router by connecting to ssid “wclass” (802.11b/g mode)

Put IP 10.1.1.xx/24 on your wireless interface and add static gateway in ip>route : 10.1.1.254

Add masquerade rule in ip>firewall>NAT, (chain=src-nat, out int=wan1, action=masquerade)

Check Ping to the Gateway.

MikroTik

Requirements and Compatibility

- Nv2 Requires Router OS version 5x
- Supported by Atheros AR 5413 and newer Chipsets
- Not Compatible with non Nv2 protocols such as 802.11 or other Proprietary protocols

Why N-Streme / NV2 ???

802.11x



CSMA/CA

Problem:

Hidden Node Problem

Nstreme



CSMA with POLLING

Problem:

Increased Overhead due to polling

Nv2



TDMA

A Very Good Solution

WHY ????????

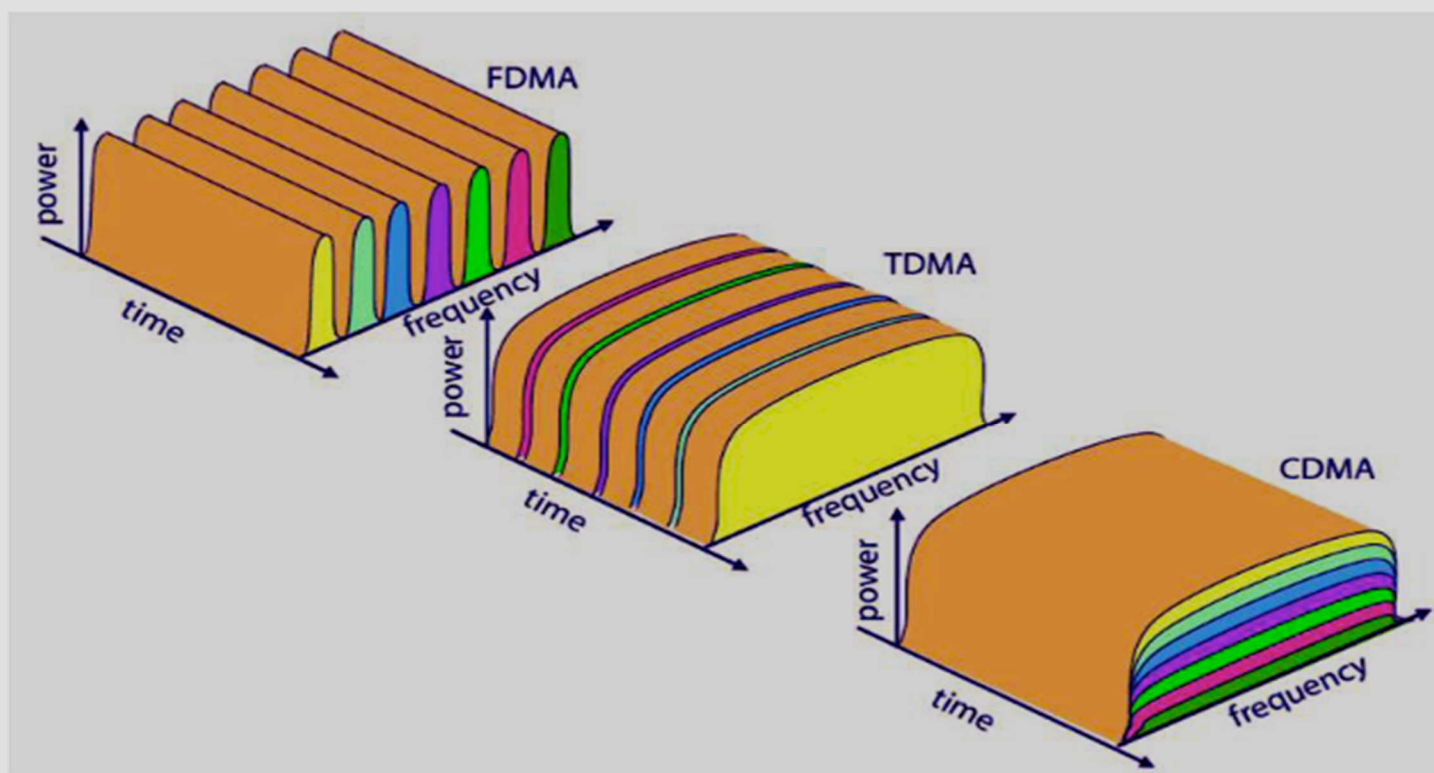
T D M A ==>> Time Division Multiple Access

In TDMA mechanism, a specific node such as AP has responsibility to coordinate the nodes of the network.

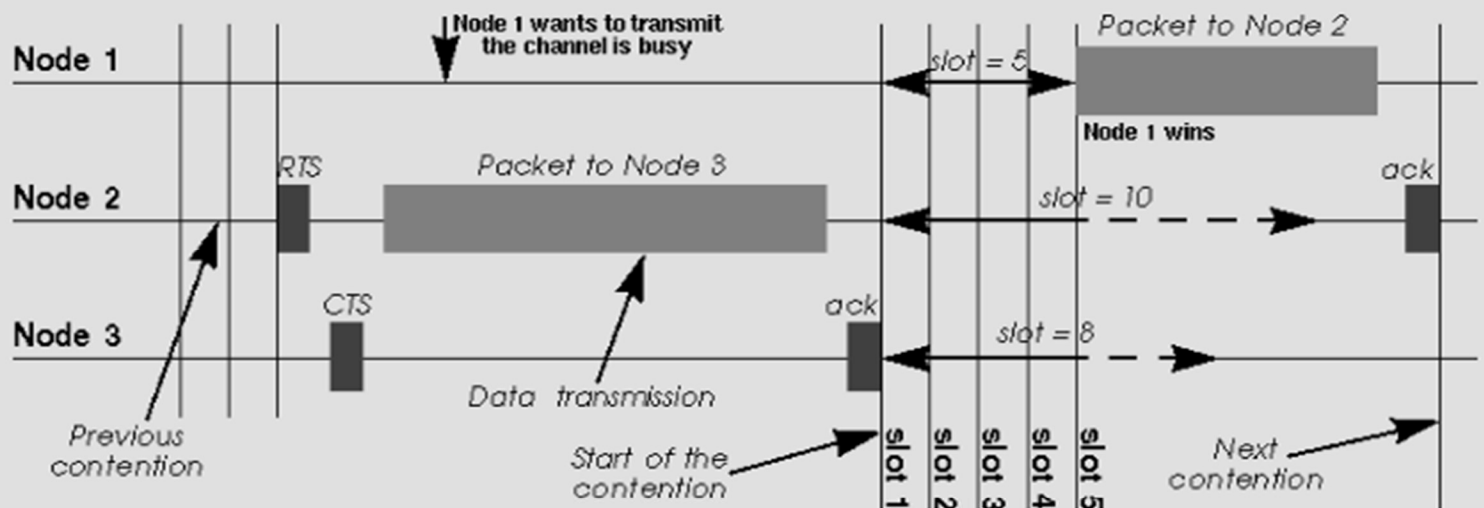
The time on the channel is divided into time slots which are generally of fixed size.

It reduces a lot of overhead in wireless networks and has benefits such as :

- 1> More Throughput
- 2> Lower Latency
- 3> Good for Point to Multipoint Networks
- 4> Solves Hidden Node Problem

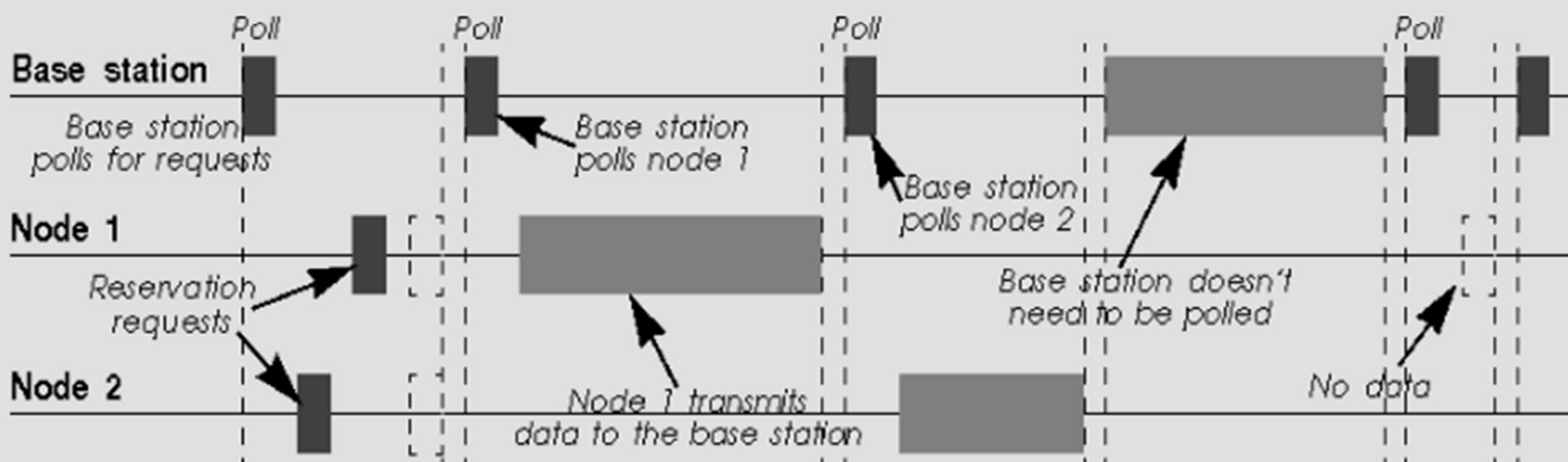


CSMA/CA MECHANISM



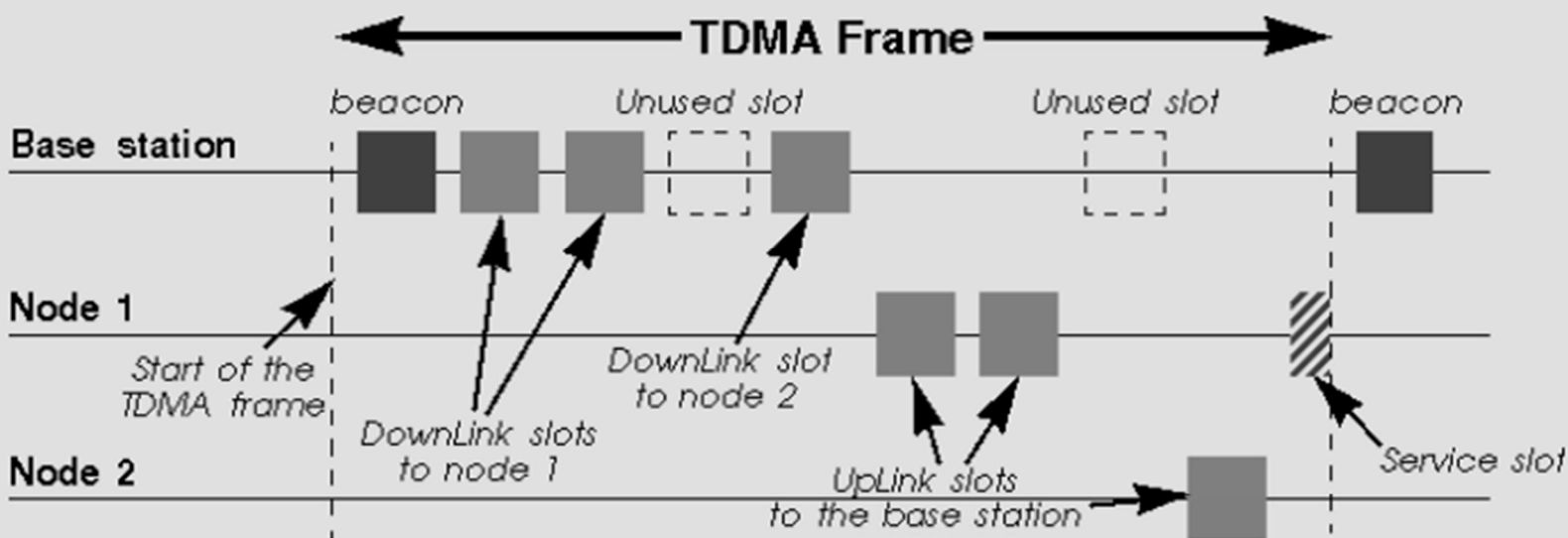
❖ Used by 802.11 Standard

POLLING MAC MECHANISM



❖ Used by Mikrotik Nstreme Protocol

TDMA MECHANISM

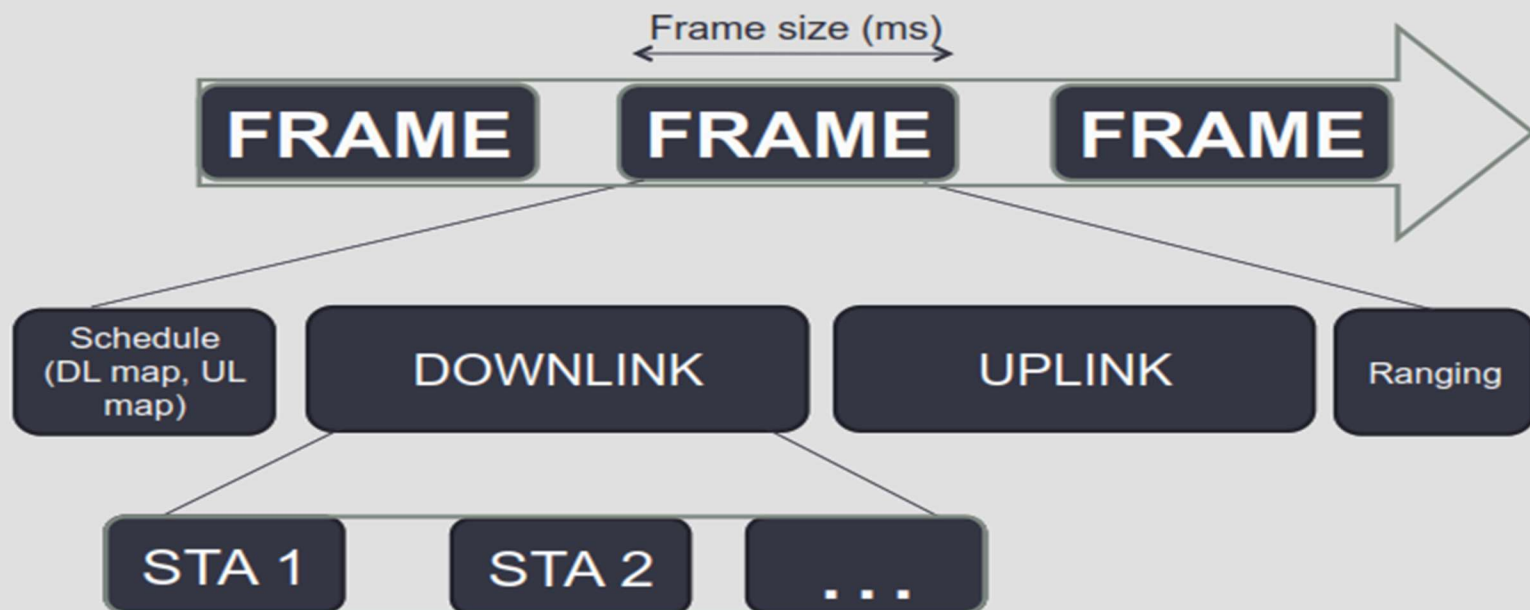


❖ Used by Mikrotik Nv2 Protocol

Nv2 Mechanism

- Media access is controlled by Nv2 AP
- Time is divided dynamically by AP in “periods”:
 - > Downlink (from AP to Clients)
 - > Uplink (from Clients to AP)
- Uplink time is divided between the connected clients based on their requirements for bandwidth.
- At the beginning of each period AP broadcasts schedule that tells clients when they should transmit and the amount of time they can use.

NV2 Frames



Registration of New Client

- Nv2 AP periodically assigns uplink time for new client.
- This time interval is used by new client to initiate registration to AP
- The AP estimates propagation delay between AP and client and starts periodically scheduling uplink time for this client in order to complete registration and receive data from new client.

Nv2 Special Features

- Reliable communications across Nv2 links
- Dynamic rate selection on per-client basis.
- QoS with variable number of priority queues.
- > Built-in default QoS scheduler that can be accompanied with fine grained QoS policy based on firewall rules.

Nv2 Settings

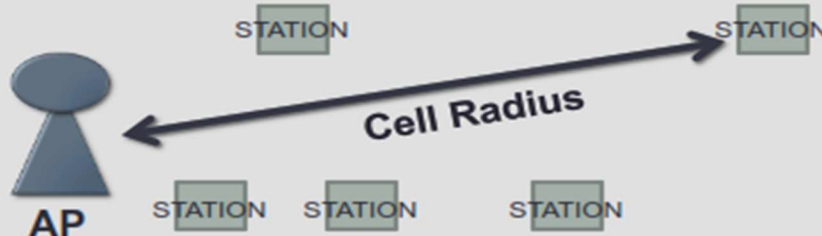
➤ Nv2-cell-radius

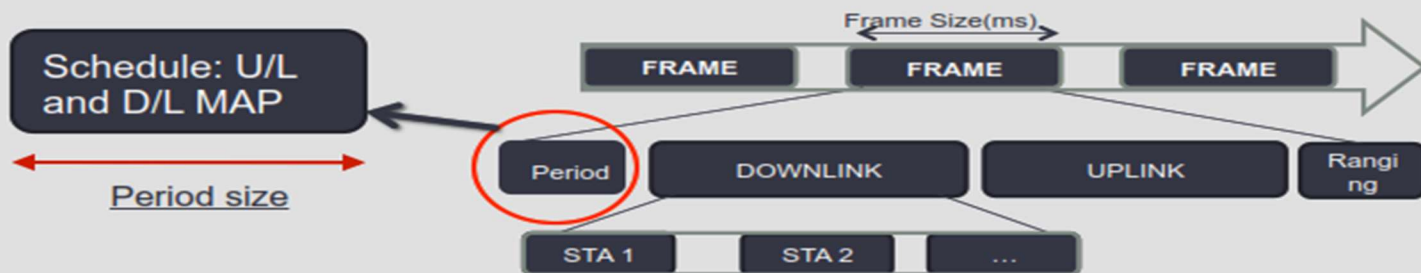
> Specifies distance to farthest client in Nv2 network in km.

> Affects the size of contention time slot that AP allocates for clients to initiate connection and also size of time slots used for estimating distance to client.

> If this setting is too small, clients that are further away may have trouble connecting and/or disconnect with "ranging timeout" error.

> In order to maintain maximum performance, it is advised not to increase this setting if not necessary, so AP is not reserving time that is actually never used, but instead allocates it for actual data transfer.





> tdma-period-size

> It is the size in ms of time periods that Nv2 AP uses for media access scheduling. Smaller period can potentially decrease latency (because AP can assign time for client sooner), but will increase protocol overhead and therefore decrease throughput. Increasing period will increase throughput but also increase latency

> It may be required to increase this value for especially long links to get acceptable throughput.

Nv2 Setting

Quality of Service

- QoS in Nv2 is implemented by means of variable number of priority queues
- Queue is considered for transmission based on rule recommended by 802.1D-2004 - only if all higher priority queues are empty:
 - > at first all frames from queue with higher priority will be sent, and only then next queue is considered
- QoS policy must be designed with care so that higher priority queues do not make lower priority queues starve
- QoS policy in Nv2 network is controlled by AP, clients adapt policy from AP

QoS

- nv2-queue-count
 - > specifies how many priority queues are used in Nv2 network
- nv2-qos=default
 - > outgoing frame at first is inspected by built-in QoS policy algorithm that selects queue based on packet type and size
 - > If built-in rules do not match, queue is selected based on frame priority field, as in nv2-qos=frame-priority mode
- nv2-qos=frame-priority
 - > QoS queue is selected based on frame priority field
 - > frame priority field is not some field in headers and therefore it is valid only while packet is processed by given device
 - > frame priority field must be set either explicitly by firewall rules or implicitly from ingress priority by frame forwarding process, for example, from MPLS EXP bits

Saturday, August 25, 2012

21

MUM INDIA 2012 – Soumil Gupta Bhaya

Frame Priority Mapping

- If number of queues is 2 (default), mapping is as follows:
 - > priority 0,1,2,3 -> queue 0
 - > priority 4,5,6,7 -> queue 1
- If number of queues is 4, mapping is as follows:
 - > priority 0,3 -> queue 0
 - > priority 1,2 -> queue 1
 - > priority 4,5 -> queue 2
 - > priority 6,7 -> queue 3
- If number of queues is 8 (maximum possible), mapping is as follows:
 - > priority 0 -> queue 2
 - > priority 1 -> queue 0
 - > priority 2 -> queue 1
 - > priority 3 -> queue 3
 - > priority 4 -> queue 4
 - > priority 5 -> queue 5
 - > priority 6 -> queue 6
 - > priority 7 -> queue 7

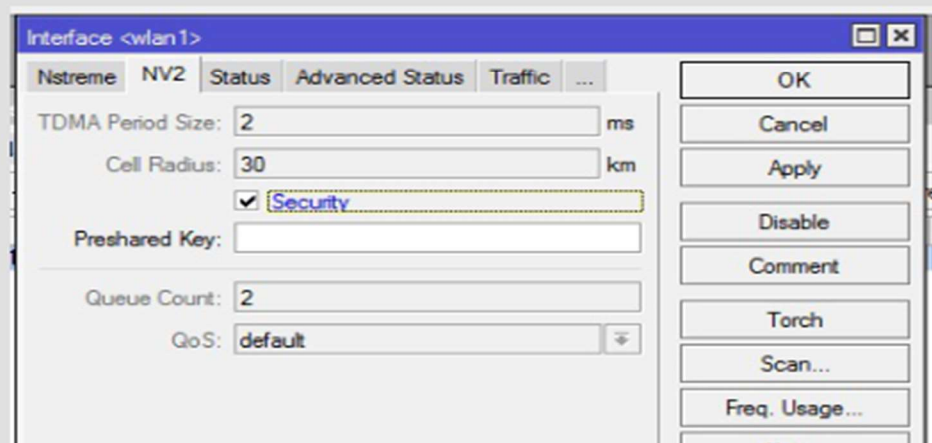
Saturday, August 25, 2012

22

MUM INDIA 2012 – Soumil Gupta Bhaya

Security In NV2

- Nv2 does not support Standard WPA Encryption.
- The Encryption is done by Pre-Shared Key between AP and Clients.
- Security can be activated from the NV2 menu in Wireless Configuration.



Advantage of NV2 over 802.11x

➤ Media access is scheduled by AP

> eliminates hidden node problem and allows to implement centralized media access policy - AP controls how much time is used by every client and can assign time to clients according to some policy instead of every device contending for media access

➤ Reduced frame propagation delay

> There are no per-frame ACKs in Nv2 - this significantly improves throughput, especially on long distance links where data frame and following ACK frame propagation delay significantly reduces the effectiveness of media usage

➤ Reduced per frame overhead

> Nv2 implements frame aggregation and fragmentation to maximize assigned media usage and reduce per-frame overhead (inter-frame spaces, preambles)

Advantage of NV2 over N-streme

➤ Reduced polling overhead

> instead of polling each client, Nv2 AP broadcasts uplink schedule that assigns time to multiple clients, this can be considered "group polling"
 > no time is wasted for polling each client individually, leaving more time for actual data transmission. This improves throughput, especially in PtMP configurations

➤ Reduced frame propagation delay

> Nv2 must not poll each client individually, this allows to create uplink schedule based on estimated distance (propagation delay) to clients such that media usage is most effective. This improves throughput, especially in PtMP configurations

➤ More control over latency

> reduced overhead, adjustable period size and QoS features allows for more control over latency in the network

Disadvantages of NV2

- Only RouterOS devices will be able to participate in Nv2 network and only RouterOS devices will see Nv2 AP when scanning.
- Nv2 network will disturb other networks in the same channel and Nv2 network may be affected by any (Nv2 or not) other networks in the same channel.
- Nv2 enabled device will not connect to any other TDMA based network.
- Does not Support 802.11x standard WPA/WPA 2 Security Protocols

Lab : Performance of NV2

- We shall change different Qos Features on your Nv2 link.
- What is the best possible setting ?????

SUMMARY

- ✓ Nv2 is Stable.
- ✓ Nv2 has More Control.
- ✓ Nv2 uses TDMA which is excellent in any kind of wireless scenario.
- ✓ Nv2 has additional QoS features.
- ✓ Nv2 is Mikrotik !



THANKING YOU

SOUMIL GUPTA BHAYA

BLINKNET SOLUTION Pvt Ltd.

Mikrotik Consultants, and Master
Distributor

Soon To Be a Mikrotik Certified Trainer



FTTX

OPF OPTICAL FIBER

TECHNICAL DATASHEET

for

FIBER TERMINATION BOX 16 CORES (OPF-CWP-16-14)



OPFibra OptiClink Group Ltd

+55 (47) 2122-9239 | +55 (47) 99738-0962
Rua Indaial, 424, Sala 3
Itajai | SC | Brasil
www.opflatam.com

FTTH Drop Cable Type Fiber Optic Splice & Splitter Closure

FTTH Drop Cable Type Fiber Optic Splice & Splitter Closure features with ruggedness, which is tested under harsh conditions and stand up to even the most severe conditions of moisture, vibration and extreme temperatures. Humanized design helps user get better experience and safer operating environment.



1. FEATURES

- Dis-mountable adaptor panel
- Support midspan termination
- Easy operation and installation
- Rotatable and dis-mountable splice tray for easy splicing

2. APPLICATIONS

- Wall mounting and pole mounting installation
- Suitable for 2*3mm indoor FTTH Drop Cable and outdoor Figure 8 FTTH Drop Cable (standard) or 6mm cable (optional)

3. CONFIGURATION

Model	OPF-CWP-16		OPF-CWP-24	
Adapter	16pcs of SC		24pcs of SC	
Cable ports	1 uncut port	2 round ports	1 uncut port	2 round ports
Applicable Cable Diameter	10-17.5mm	8-17.5mm	10-17.5mm	8-17.5mm
Drop Cable Ports	16 ports		24 ports	
Applicable Cable Diameter	2*3mm FTTH Drop Cable, 2*5mm Figure 8 FTTH Drop Cable, 6mm cable (optional)			
Dimension	385*245*130mm		385*245*155mm	
Material	Modified polymer plastic			
Sealing structure	Mechanical sealing			
Color	Black			
Maximum Splicing Capacity	48 fibers (4 trays, 12 fibers/tray)			
Applicable Splitter	1pc of 1x16 PLC Splitter or 2pcs of 1x8 PLC Splitters			
Sealing	IP68			
Impact Test	IK10			
Pull Force	100N			
Midspan Entry	yes			
Storage (Tube/Micro Cable)	yes			
Net Weight	4 kg			
Gross Weight	5 kg			
Packing	340*410*375mm (4pcs per carton)			

PLC Splitters

ISP/OSP Planar Lightwave Circuit



Product Description:

Planar Lightwave Circuit (PLC) Splitters with the following options:

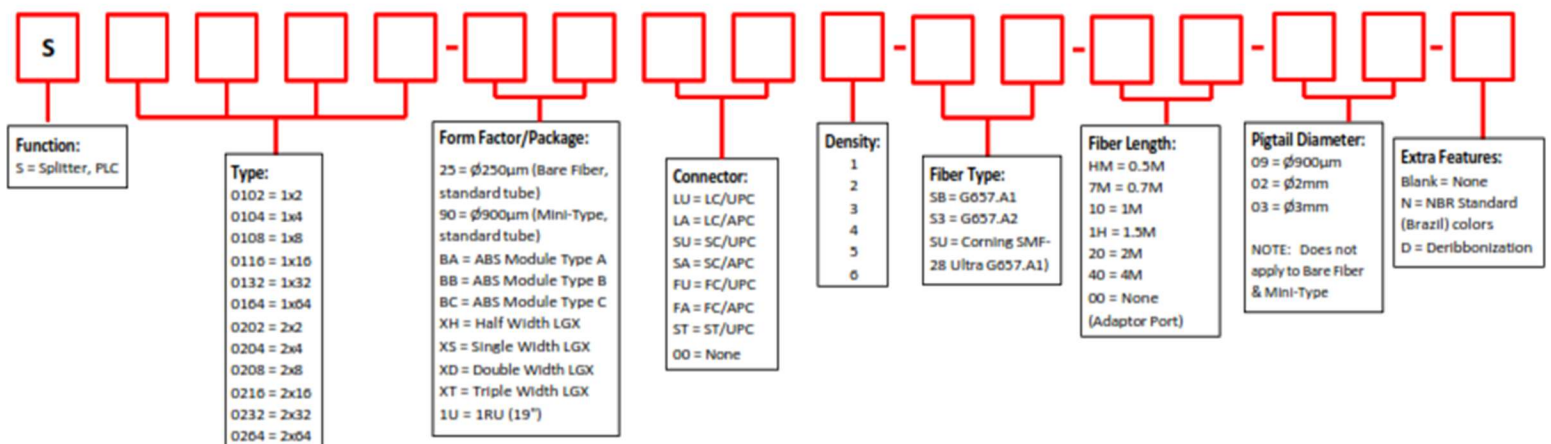
- 1XN or 2XN, Bare Fiber, Mini-Type, ABS Module, LGX Cassette
- 1RU Form Factor
- UPC/APC Connectors
- Variable Input/Output Lengths

Applications:

- PON Networks
- FTTX Systems
- CATV Links
- Optical Signal Distribution



Product Ordering Information



PLC Splitters

ISP/OSP Planar Lightwave Circuit



Part Number / Description Examples

Part Number	Bare Fiber Type Description
S0104-25001-SB-1H	PLC Optical Splitter, 1x4, Single, Ø250um Bare Fiber with standard tube, G.657.A1 fiber, 1.5M legs, Unconnectorized

S0108-25001-SB-1H	PLC Optical Splitter, 1x8, Single, Ø250um Bare Fiber with standard tube, G.657.A1 fiber, 1.5M legs, Unconnectorized
-------------------	---

Part Number	Mini-Type Description
S0104-90001-SB-1H	PLC Optical Splitter, 1x4, Single, Ø900um Mini-Type with standard tube, G.657.A1 fiber, 1.5M legs, Unconnectorized

S0108-90001-SB-1H	PLC Optical Splitter, 1x8, Single, Ø900um Mini-Type with standard tube, G.657.A1 fiber, 1.5M legs, Unconnectorized
-------------------	--

Part Number	ABS Module Type Description
S0108-BALU1-SB-20-02	PLC Optical Splitter, 1x8, Single, ABS Module Type A (100x80x10mm), LC/UPC Connectors, G.657.A1 fiber, 2M x Ø2mm pigtails

S0116-BB001-SB-10	PLC Optical Splitter, 1x16, Single, ABS Module Type B (120x80x18mm), G.657.A1 fiber, no pigtails
-------------------	--

Part Number	LGX Cassette Type Description
S0116-XSLU1-SB-10-02	PLC Optical Splitter, 1x16, LGX Single width, LC/UPC Connectors, Corning SMF-28 Ultra G.657.A1 fiber, 1M x Ø2mm pigtails

S0108-XSSA1-SB-00	PLC Optical Splitter, 1x8, LGX Single width, SC/APC Connectors, G.657.A1 fiber
-------------------	--

Part Number	1RU Rackmount Type Description
S0164-1ULU1-SU-00	PLC Optical Splitter, 1x64, Single, 1RU (19") Width, LC/UPC Connectors, Corning SMF-28 Ultra G.657.A1 fiber

PLC Splitters
ISP/OSP Planar Lightwave Circuit



Optical Characteristics

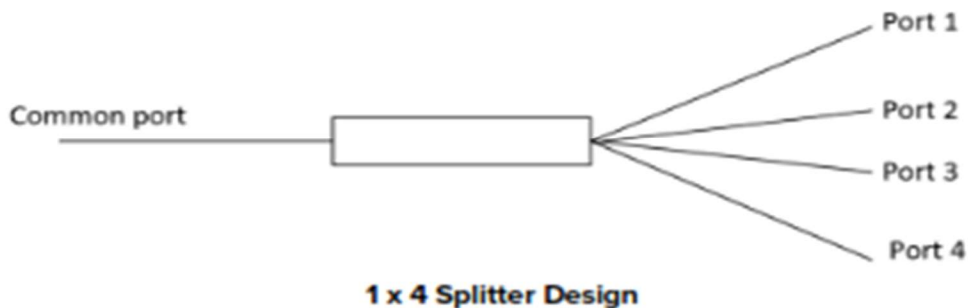
Parameter	1XN	2xN	Unit
Operating Wavelength	1260 - 1650	1260 - 1650	nm
Insertion Loss	< 3.8 (1x2)	< 3.9 (2x2)	dB
	< 7.2 (1x4)	< 7.3 (2x4)	
	< 10.3 (1x8)	< 10.5 (2x8)	
	< 13.5 (1x16)	< 14.4 (2x16)	
	< 16.5 (1x32)	< 17.4 (2x32)	
	< 20.5 (1x64)	< 21.0 (2x64)	
Loss Uniformity	< 23.8 (1x128)	< 24.5 (2x128)	dB
	< 0.4 (1x2)	< 0.6 (2x2)	
	< 0.6 (1x4)	< 1.0 (2x4)	
	< 0.8 (1x8)	< 1.2 (2x8)	
	< 1.0 (1x16)	< 1.5 (2x16)	
	< 1.5 (1x32)	< 1.8 (2x32)	
Directivity	> 55	> 55	dB
Return Loss	> 55	> 55	dB
Wavelength Dependent Loss	< 0.5 (1x2/4/8/16)	< 0.5 (2x2/4/8/16)	dB
	< 1.0 (1x32/64/128)	< 1.0 (2x32/64/128)	
Polarization Dependent Loss	< 0.2 (1x2/4/8)	< 0.2 (2x2/4/8)	nm
	< 0.3 (1x16/32)	< 0.3 (2x16/32)	
	< 0.4 (1x64/128)	< 0.4 (2x64/128)	
IL Thermal Stability	< 0.5	< 0.5	(dB/°C)
Maximum Input Power	500/27	500/27	(mW/dBm)
Operating Temperature	-20 to +80	-20 to +80	(°C)
Operating Humidity	5 to 95	5 to 95	(%)
Fiber Type (all ports)	G.657.A1 (UOS)	G.657.A1 (UOS)	

PLC Splitters

ISP/OSP Planar Lightwave Circuit



Splitter Design



Example: a) 1 x 4 Mini-Type PLC Splitter



b) 1 x 8 ABS Module PLC Splitter

Standard Sizes By Splitter Type											
Bare/Mini-Type	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64	2x2	2x4	2x8	2x16	2x32
Tube Size (mm)	40x4x4			50x7x4		60x12x4	50x4x4			60x7x4	
ABS Type	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64	2x2	2x4	2x8	2x16	2x32
Module Size (mm)	100x80x10 (A)			120x80x18 (B)		140x115x18 (C)	100x80x10 (A)			120x80x18 (B)	
LGX Type	1x2	1x4	1x8	1x16	1x32	1x64	2x2	2x4	2x8	2x16	2x32
w/ SC Connectors	XS			XD	XT	Custom	XS			XD	XT
w/ LC Connectors	XS			XD		XT	XS			XD	

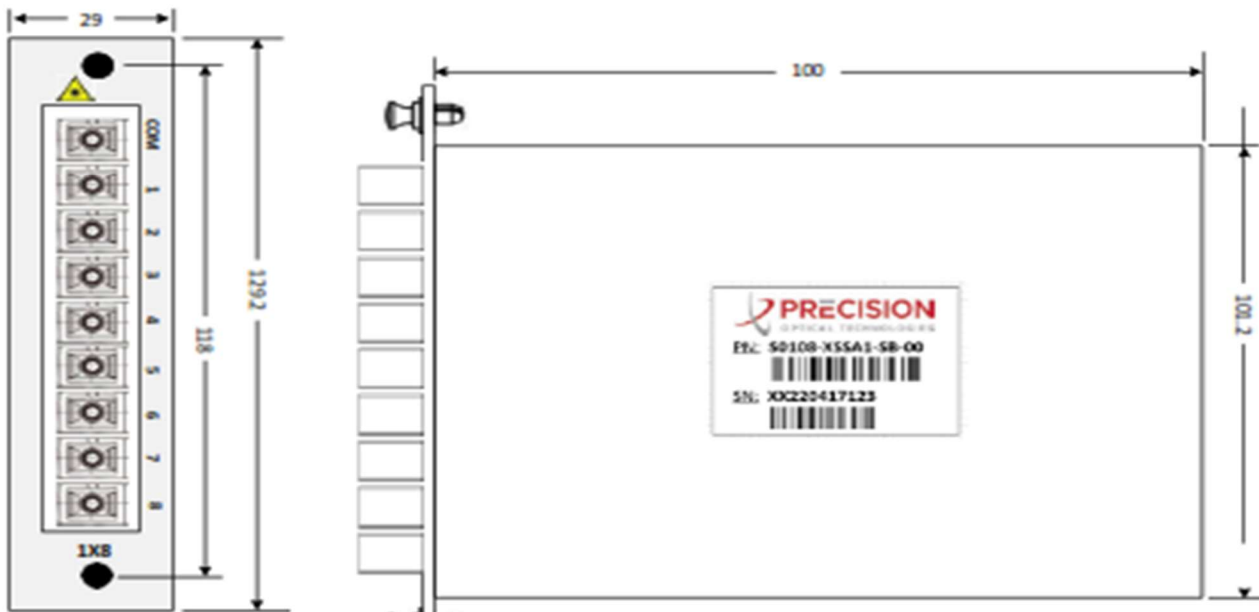
PLC Splitter Design Standards

PLC Splitters

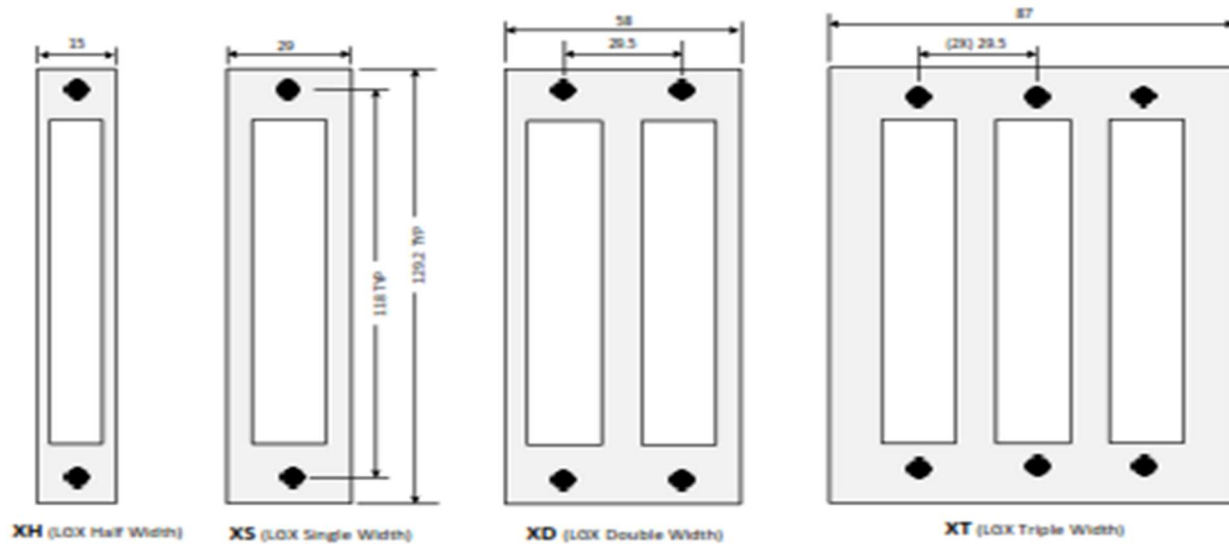
ISP/OSP Planar Lightwave Circuit



External Design



LGX External Dimensions in mm
(P/N S0108-XSSA1-SB-00 shown)



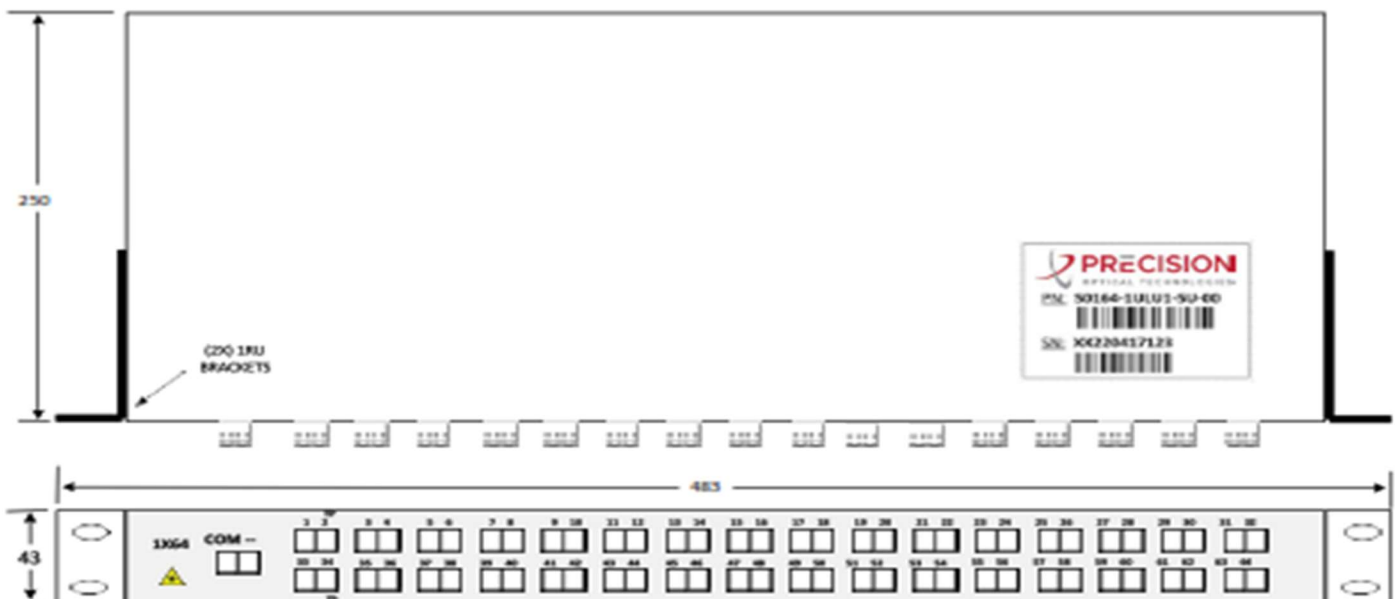
LGX Faceplate Dimensions in mm

PLC Splitters

ISP/OSP Planar Lightwave Circuit



Example: 1 x 16 1RU PLC Splitter with SC/APC Connectors



1RU Splitter External Dimensions in mm
(P/N S0164-1ULU1-SU-00 shown)



Outdoor telecom power cabinet

The Type 4 telecom power outdoor cabinet is a new generation platform designed to meet customer needs, give configuration flexibility and supports a variety of applications.

The cabinet is well suited for power, batteries and telecom equipment.

Type 4 OUTDOOR CABINET

Doc 368296.DS3 – rev2

RELIABILITY

Reliability within the outdoor plant depends upon a cool, dry and secure environment for the electronics such as the DC power and Telecom equipment.

The Type 4 Outdoor Power Cabinet more than accomplishes this with its Thermal Management that will keep sensitive electronics functioning in extreme environments.

APPLICATIONS

The Type 4 OD cabinet is well suited for a wide range of Telecom applications such as:

- Radio Access Networks (2G, 3G, 4G / LTE / WiMax)
- Optical Networks
- Cable TV
- DSL
- SCADA

The cabinet works very well as a stand-alone power and/or battery backup solution and provides additional space for telecom equipment.

KEY FEATURES

- SINGLE BAY CABINET SUITABLE FOR:
 - DC POWER
 - BATTERY BACKUP
 - TELECOM EQUIPMENT
 or combination of above
- 19" EQUIPMENT SPACE
- GALVANIZED STEEL CONSTRUCTION
- DOOR MOUNTED THERMAL MANAGEMENT SYSTEM
- WIDE RANGE OF OPTIONS
 - THERMAL INSULATION
 - DOOR SWITCH
 - DOCUMENT FOLDER
 - SMOKE DETECTOR
 - AC SERVICE SOCKET
 - SERVICE LIGHT
 and more
- GLOBAL APPROVALS
- IP55

Type 4

THERMAL MANAGEMENT SYSTEMS

365296.DS3- rev2



FAN AND FILTER	
<p>The fan and filter has the advantage that a large amount of air can be exchanged, giving very high cooling performance with low power consumption.</p> <p>The cooling is designed with overpressure principle, which provides higher sealing performance and air outlet through the door.</p>	
TECHNICAL SPECIFICATION	
<p>Single or dual inlet section, field upgradable from single to dual inlet configuration.</p>	
<p>Cooling capacity (at typical $\Delta T=10^{\circ}C$)</p>	<p>1700W with single fan configuration 2500W with dual fan configuration</p>
<p>Fan(s)</p>	<p>Single fan and optional Dual fan Temperature regulated fan speed. Fan specification: 48VDC / 82W / IP55</p>
<p>Inlet filter</p>	<p>Easily changeable filter, M5 [EN779] Pleated filter type Filter media area 1.6m² for single filter and 3.2m² for dual filter configuration</p>
<p>Outlet filter</p>	<p>Easily changeable filter, G4 [EN779] Progressive dump filter type Filter media area 0.22m²</p>
PHYSICAL SPECIFICATIONS	
<p>Thermal management system is integrated into the cabinet door</p>	
<p>Depth</p>	<p>Adds 59mm to the cabinet depth</p>
<p>Weight</p>	<p>Adds to the cabinet weight - 1.5m model: 27kg - 2.0m model: 37kg</p>
CONSTRUCTION SPECIFICATION	
<p>Material</p>	<p>Galvanized steel</p>
<p>Splash guard</p>	<p>Aluminium made with large openings to ensure low air speed</p>
OPTIONS	
<p>Heater(s)</p>	<p>Up to two (2) 500W heaters, AC or DC powered</p>
<p>Filter detection & Clogged filter</p>	<p>Provides an alarm when filter gets clogged or if filter is removed</p>

Specifications are subject to change without notice



Type 4

OUTDOOR CABINET

365296.DS3 – rev2



MODEL	1.5m	2.0m
PHYSICAL SPECIFICATIONS		
Exterior Width	705mm	705mm
Exterior Depth *	772mm	772mm
Exterior Height	1456mm	2068mm
Weight *	61kg	67kg
Rack space	27U	39U
* Info does not contain thermal management system options		
THERMAL MANAGEMENT SYSTEM		
Fan and Filter	See page 2 for details	
CONSTRUCTION SPECIFICATION		
Skin Material	1.0mm thick electro-galvanized steel (corrosion-resistant)	
Frame Material	2.0mm galvanized steel	
Powder Coat paint	Outdoor Polyester coating, Light grey RAL 7035	
DOOR SPECIFICATION		
Locking	Multi-point latched, available with an optional euro lock cylinder	
Gasket	Door gasket rated for outdoor use	
Door stop	Wind latch to hold door during maintenance (120°)	
OTHER SPECIFICATIONS		
Thermal insulation	Optional closed cell thermal insulation	
Cable entry	Bottom Front cable access through 2x FL-21 cut-outs Various glands available upon request	
Battery trays	Optional battery tray(s) capable of holding a set of batteries up to 280kg	
Plinth	Footprint (WxD): 692x742mm, Height: 104mm Optional plinth covers (front, rear, sides)	
Shipping	Shipments made in an upright position on pallet	
Other general options	Door switch, Document folder, Smoke detector, AC service socket, Service light (48VDC), PC shelf	
DESIGN STANDARDS		
Electrical safety	IEC 60950 -1 /-22	
EMC	ETSI EN 300 386:V2.1.1 EN 61000-6-1 /-2 /-3 /-4 FCC CFR 47 Part 15	
Environment	ETSI EN 300 019-1-1, Class 1.3 ETSI EN 300 019-1-2, Class 2.3 ETSI EN 300 019-1-4, Class 4.1 Ingress Protection EN 60529, IP55	
ORDERING INFORMATION		
PART NUMBER	DESCRIPTION	MOQ
CTxxxxx.nnnn	Power system configured with Type 4 cabinet	1 pc

Doc 365296.DS3 – rev2

Specifications are subject to change without notice