	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR:

NOMBRES: JONATHAN BALOIS APELLIDOS: GUERRERO PICO

FACULTAD: INGENIERIA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA ELECTRONICA

DIRECTOR:

NOMBRES: KARLA CECILIA APELLIDOS: PUERTO LOPEZ

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOENLACE PARA SOPORTAR VOLUMEN DE TRÁFICO DE DATOS DE INTERNET EN LA EMPRESA GLOBALTRONIK S.A.S.

El presente trabajo de grado de modalidad pasantía parte del objetivo principal de diseñar un sistema de radio enlace para soportar el volumen de tráfico de datos de internet para la empresa Globaltronik S.A.S., para aumentar la capacidad y estabilidad de la troncal Alpes – Cerro Mono. Este proyecto se realizó a través de la ejecución de una metodología basada en una primera etapa de Identificación de los equipos de telecomunicaciones que conformaban la troncal, seguido por la recopilación de información en cuanto a fallas y capacidad de los enlaces, esto permitió generar un diagnóstico del sistema para posteriormente continuar con la etapa de escogencia de los equipos para el diseño del nuevo sistema de radioenlace mediante el desarrollo de un estudio comparativo de marcas y equipos disponibles en el mercado teniendo en cuenta como factor más importante la capacidad mínima de soporte de tráfico de datos que debe poseer la troncal. Por último, se realizó la evaluación del diseño final del nuevo sistema mediante la simulación por software teniendo en cuenta tanto las condiciones de operación ideales de los equipos como su desempeño en condiciones climatológicas adversas.

PALABRAS CLAVES: RADIOENLACE, TRAFICO DE DATOS DE INTERNET, CAPACIDAD DE TRANSMISION

CARACTERISTICAS:

PÁGINAS: 87 PLANOS: 0 ILUSTRACIONES: 18 CD ROOM:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOENLACE PARA SOPORTAR VOLUMEN DE
TRÁFICO DE DATOS DE INTERNET EN LA EMPRESA GLOBALTRONIK S.A.S.

JONATHAN BALOIS GUERRERO PICO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIOENLACE PARA SOPORTAR VOLUMEN DE
TRÁFICO DE DATOS DE INTERNET EN LA EMPRESA GLOBALTRONIK S.A.S.

Presentado Por:

JONATHAN BALOIS GUERRERO PICO

Trabajo de grado en modalidad de pasantía para optar por el título de

INGENIERO ELECTRÓNICO

Director:

KARLA CECILIA PUERTO LOPEZ

M. Sc. Ingeniería en Telecomunicaciones

Codirector:

LAURA MARIA AMAYA CORDERO

M. Sc. Ingeniería de Sistemas

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

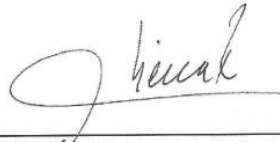
Fecha: CÚCUTA, 15 DE MARZO DE 2022
Hora: 11:00
Lugar: SALON SC 301
Plan de Estudios: INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Título de la Tesis: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE RADIO ENLACE PARA SOPORTAR VOLUMEN DE TRÁFICO DE DATOS DE INTERNET EN LA EMPRESA GLOBALTRONIK S.A.S"
Jurados: IE MSc. EDWIN JOSÉ VERA ROZO
IE Esp. ARISTÓBULO SIERRA ROJAS
Director: IE. MSc. KARLA CECILIA PUERTO LOPEZ
Codirector: IE. LAURA MARIA AMAYA CORDERO

Nombre del Estudiante:	Código:	Calificación:	
		Número	Letra
JONATHAN BALOIS GUERRERO PICO	1161066	4,3	Cuatro, tres

APROBADO



EDWIN JOSÉ VERA ROZO



ARISTÓBULO SIERRA ROJAS


ANSELO JOSEPH SOTO VERGEL
Coordinador Comité Curricular
Ingeniería Electrónica

Contenido

Introducción	12
1. Descripción del problema	14
1.1. Título	14
1.2. Planteamiento del problema	14
1.3. Formulación del problema	17
1.4. Justificación	17
1.4.1. Impacto Esperado	18
1.4.2. Beneficios tecnológicos	19
1.4.3. Beneficios institucionales	19
1.4.4. Beneficios académicos	20
1.5. Alcances	20
1.6. Tipo de proyecto	21
1.7. Limitaciones y delimitaciones	21
1.7.1. Limitaciones	21
1.7.2. Delimitaciones	21
1.8. Objetivos	22
1.8.1. Objetivo general	22
1.8.2. Objetivos específicos	22
2. Marco Referencial	23

2.1. Antecedentes	23
2.2. Marco teórico	24
2.2.1. Sistema de Radioenlace por microondas.	24
2.2.2. Elementos que conforman un sistema básico de radioenlace.	25
2.2.3. Funcionamiento de un sistema de radioenlace.	25
2.2.4. Conceptos clave en el diseño de un sistema de radioenlace.	26
2.2.5. La curvatura de la tierra.	29
2.3. Marco legal	30
3. Diseño Metodológico	31
3.1. Identificar el sistema de radioenlaces actual que conforma la troncal Alpes – Cerro Mono.	32
3.1.1. Actividad	32
3.1.2. Metodología.	32
3.2. Recopilar información estadística del volumen de tráfico, capacidad del canal y fallas que se generan en el actual sistema de radioenlaces.	32
3.2.1. Actividad	32
3.2.2. Metodología	33
3.3. Realizar un estudio comparativo entre los equipos y marcas disponibles en el mercado para el diseño del radioenlace.	33
3.3.1. Actividad	33
3.3.2. Metodología	34

3.4. Diseñar el sistema de radioenlace teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de capacidad y calidad necesarias.	34
3.4.1. Actividad	34
3.4.2. Metodología.	34
3.5. Evaluar el diseño del radioenlace mediante simulación por software.	34
3.5.1. Actividad.	34
3.5.2. Metodología.	35
4. Resultados	36
4.1. Equipos de telecomunicaciones troncal Alpes - Cerro Mono	36
4.2. Sistema de monitoreo de red	39
4.3. Dispositivos de red en el nodo Alpes	41
4.4. Dispositivos de red en el nodo Cerro Mono	43
4.5. Reconocimiento nodo Alpes	46
4.6. Interfaz gráfica de los radios Mimosa	48
4.7. Disponibilidad de la troncal Alpes – Cerro Mono	49
4.8. Capacidad de transmisión ideal del nuevo radioenlace.	52
4.9. Equipos disponibles en el mercado que cumplen con las especificaciones del diseño.	55
4.9.1. Ubiquiti Networks	55
4.9.2. Mimosa Networks	58
4.9.3. Cambium Networks	59

4.10. Análisis de las ventajas y desventajas	60
4.10.1. Ubiquiti airFiber 11	62
4.10.2. Mimosa B11	65
4.10.3. Cambium PTP 550E	67
4.11. Selección de los equipos	69
4.12. Logística para el montaje del radioenlace Mimosa B11	69
4.12.1. Logística en torre Alpes	70
4.12.3. Logística en torre Cerro Mono	71
4.13. Simulación del diseño	73
Conclusiones	81
Recomendaciones	83
Referencias	84

Lista de Tablas

	Pág
Tabla 1. Especificaciones radio Ubiquiti Airfiber 5X	37
Tabla 2. Especificaciones radio MIMOSA C5C	37
Tabla 3. Especificaciones radio MIMOSA B5C	38
Tabla 4. Radios en el nodo de Alpes	43
Tabla 5. Radios en el nodo de Cerro Mono	45
Tabla 6. Comparación informe ping enlaces Alpes – Cerro Mono	51
Tabla 7 Radios Ubiquiti airFiber	56
Tabla 8. Características básicas Mimosa B11	59
Tabla 9. Radios Cambium PTP	59
Tabla 10. Especificaciones Ubiquiti airFiber 11	61
Tabla 11. Especificaciones Mimosa B11	61
Tabla 12. Especificaciones Cambium PTP 550E	62
Tabla 13. Ventajas y desventajas airFiber 11	64
Tabla 14. Ventajas y desventajas Mimosa B11	67
Tabla 15. Ventajas y desventajas PTP 550E	68
Tabla 16. Comparación de rendimiento de tráfico máximo	79

Lista de Figuras

	Pág
Figura 1. Sistema de transmisión y recepción por radioenlace. Imagen tomada de. [17]	25
Figura 2. Zona de Fresnel. Imagen tomada de. [18]	27
Figura 3. Representación de la zona de Fresnel. Imagen tomada de. [18]	28
Figura 4. Curva del haz electromagnético por refracción troposférica. Imagen tomada de. [18]	30
Figura 5. PRTG dispositivos nodo Alpes.	42
Figura 6. PRTG dispositivos nodo Cerro Mono.	45
Figura 7. Cuarto de equipos nodo Alpes.	47
Figura 8. Torre nodo Alpes.	47
Figura 9. Dashboard Mimosa B5c	48
Figura 10. Informe de ping de PRTG del radioenlace C5c	50
Figura 11. Analizador de espectro del radioenlace Mimosa B5c	57
Figura 12. Add Link Mimosa Design	74
Figura 13. Mapa de enlace	75
Figura 14. Link Summary, condiciones climáticas normales.	76
Figura 15. Simulación de condiciones climáticas.	77
Figura 16. Link Summary, condiciones climáticas adversas.	77
Figura 17. Condiciones climáticas extremas	78
Figura 18. Simulación Mimosa B5c	79

Resumen

El presente trabajo de grado fue ejecutado bajo la modalidad de pasantía a partir del objetivo principal de diseñar un sistema de radio enlace para soportar el volumen de tráfico de datos de internet para la empresa Globaltronik S.A.S., para aumentar la capacidad y estabilidad de la troncal Alpes – Cerro Mono dentro de la red principal de telecomunicaciones de la compañía. Este proyecto se realizó a través de la ejecución de una metodología basada en una primera etapa de Identificación de los equipos de telecomunicaciones que conformaban la troncal, seguido por el estudio y la recopilación de información en cuanto a fallas y capacidad de los enlaces del sistema existente, esto permitió generar un diagnóstico del sistema para posteriormente continuar con la etapa de escogencia de los equipos para el diseño del nuevo sistema de radioenlace mediante el desarrollo de un estudio comparativo de marcas y equipos disponibles en el mercado nacional teniendo en cuenta como factor más importante la capacidad mínima de soporte de tráfico de datos de internet que debe poseer la troncal. Por último, se realizó la evaluación del diseño final del nuevo sistema mediante la simulación por software teniendo en cuenta tanto las condiciones de operación ideales de los equipos como su desempeño en condiciones climatológicas adversas. El diseño del nuevo sistema se entregó a la compañía junto con una serie de recomendaciones a tener en cuenta durante el proceso de instalación y configuración de los radioenlaces

Introducción

En la sociedad moderna contar con servicio de internet residencial se ha convertido en prácticamente una necesidad básica para todas las familias, tanto así que la ley 2108 de 2021 emitida por el congreso de la república de Colombia declaró el internet como servicio público esencial y universal, siendo esta una iniciativa del gobierno que busca cerrar la brecha digital impulsando el desarrollo y la conectividad de las regiones más apartadas del país [1].

Resultó evidente que la pandemia provocada por el Covid 19 ha generado el aumento de la demanda de los servicios de telecomunicaciones, en especial el internet, debido a la migración hacia el teletrabajo y la educación virtual que experimenta el mundo con el objetivo de mantener el aislamiento social.

El crecimiento de la demanda de servicios de internet se ve reflejado en el aumento del tráfico de datos en los sistemas de telecomunicaciones, muchos de los cuales se han quedado cortos en cuanto a capacidad para soportar todo el flujo de información que se genera a través de la red; las empresas y grandes compañías de telecomunicaciones se han visto en la necesidad de mejorar o ampliar su infraestructura para continuar ofreciendo un buen servicio a sus usuarios [2].

Uno de los sistemas más usados por las empresas prestadoras de servicios de internet para llevar la red hasta las zonas más apartadas del país es el radioenlace, debido a que las características geográficas en muchas ocasiones dificultan la conectividad por los medios guiados tradicionales, sumado a esto si se quiere la reducción en cuanto a la infraestructura y logística necesaria para instalar un enlace a grandes distancias desde las ciudades principales hacia pueblos, veredas y corregimientos que se pueden encontrar a por lo menos unas decenas de kilómetros de distancia. La geografía de muchas zonas del país, incluido el departamento de Norte de Santander, donde abundan las montañas, cerros y cañones, provoca que existan

poblados prácticamente aislados o de difícil acceso debido a la escasez y deterioro de las vías de transporte terrestre.

Todas estas condiciones juntas generan que resulte más viable instalar canales de radioenlace construyendo nodos en las zonas montañosas y más altas de los poblados que se quieren intercomunicar, logrando de esta manera reducir distancias ya que se realiza una conexión en línea recta evitando las curvas y desviaciones que conllevaría la instalación de sistemas guiados surcando los diferentes obstáculos geográficos característicos de cada zona en particular.

Las antenas más utilizadas por las empresas de internet para el diseño de troncales de comunicación entre las grandes ciudades y los poblados y municipios cercanos trabajan en el rango de las microondas de los 5 GHz, estando este rango de frecuencias bastante saturado ya que permite la creación de radioenlaces con gran capacidad de tráfico de más de 40 Km de distancia [3].

1. Descripción del problema

En este capítulo se detalla el título, planteamiento del problema, justificación, alcances, tipo de proyecto, limitaciones y delimitaciones y los objetivos del desarrollo de este trabajo de grado.

1.1. Título

Diseño de un sistema de radioenlace para soportar volumen de tráfico de datos de internet en la empresa GLOBALTRONIK S.A.S.

1.2. Planteamiento del problema

La empresa de telecomunicaciones Globaltronik S.A.S. utiliza el sistema de radioenlace como base fundamental en el diseño de sus redes de comunicaciones y como estructura para la transmisión y el ofrecimiento de servicios de internet [4]. En la actualidad y dado el aumento del tráfico de datos a través de la red se presenta congestión en la troncal principal que comunica los nodos de Alpes en la ciudad de Cúcuta con el nodo Cerro Mono ubicado en zona rural en la vía que conduce hacia el municipio de Tibú.

Dicha troncal está conformada actualmente por tres (3) radioenlaces que se han quedado cortos de capacidad durante las horas pico para conducir el alto volumen de tráfico de los servicios de internet ofrecidos por la empresa en los municipios de Puerto Santander, Tibú, El Tarra y parte de la zona rural de Sardinata, adicionalmente en el nodo de Alpes se presenta contaminación de frecuencias debido a que la torre es compartida con otras empresas proveedoras de servicios de telecomunicaciones de la ciudad, esto ha generado competencia por las frecuencias del espectro electromagnético disponibles en ese sitio, esta contaminación genera reducción en la capacidad de los canales de transmisión de los radioenlaces.

Como se mencionó anteriormente el tráfico de datos en la troncal Alpes – Cerro Mono está soportado por tres radioenlaces, cada uno de estos radioenlaces o canales están basados en equipos o radios de distintas tecnologías, Ubiquiti Airfiber 5x, Mimosa C5C y Mimosa B5C respectivamente que operan en el rango de frecuencias de los 5 GHz; los equipos de las otras compañías con las cuales se comparte este nodo también trabajan en este mismo rango lo que genera ruido y contaminación de frecuencias. Además, existen otros factores que afectan la calidad de los radioenlaces como lo son los fenómenos atmosféricos, la distancia del enlace, los obstáculos en la línea de vista propios del relieve geográfico y las construcciones y edificaciones.

El radio Airfiber 5x opera en un rango de frecuencias de (5150-5925 MHz), tiene potencia de salida ajustable de entre 24 dBm y 60 dBm, ganancia de antena ajustable de 0 dBi a 40 dBi con ancho de banda de canal ajustable de (10/20/30/40/50 MHz) con una velocidad máxima de transmisión de 500 Mbps y un alcance máximo de 200 Km [5], teniendo en cuenta estas características y los factores que influyen en la calidad del enlace actualmente el canal Alpes – Cerro Mono de esta tecnología tiene una capacidad de transmisión de 200 Mbps y 50 Mbps de recepción en condiciones normales bajando hasta 100 Mbps de transmisión y 10 Mbps de recepción cuando es contaminada su frecuencia de operación.

En el caso del radio Mimosa B5C este opera en el rango de frecuencias de (4900-6200 MHz), tiene un ancho de canal ajustable de (20/40/80 MHz), potencia de salida máxima de 30 dBm, ganancia de antena máxima de 36 dBi, con una velocidad máxima de transmisión de 1.5 Gbps y un alcance máximo de 100 Km [6], actualmente el canal Alpes – Cerro Mono que cuenta con esta tecnología y sin desconocer los factores que afectan el rendimiento tiene una capacidad de 234 Mbps de transmisión y 234 Mbps de recepción en condiciones normales y llegando incluso a desenlazarse cuando se ve afectada por contaminación de frecuencias.

Para el radio C5C el rango de operación de frecuencia es de (4900-6400 MHz), con ancho de canal ajustable de (20/40/80 MHz), potencia de salida máxima de 27 dBm, ganancia de antena máxima de 36 dBi, con una velocidad máxima de transmisión de 700 Mbps a una distancia de alcance máximo de 100 Km [7], el actual canal que cuenta con esta tecnología tiene una capacidad de 350 Mbps de transmisión y de 290 Mbps recepción en condiciones normales.

Sumando los tres canales se obtuvo una capacidad total en la troncal de 784 Mbps de transmisión y 574 Mbps de recepción en condiciones normales que son suficientes para un tráfico promedio en horas pico de 650 Mbps de transmisión y 45 Mbps de recepción, ocupando el 83% de la capacidad disponible en transmisión y el 8% en la recepción. En condiciones normales de operación la troncal cuenta con la capacidad necesaria para soportar el tráfico en horas pico, pero actualmente se están presentando constantes novedades en el servicio debido a la pérdida de capacidad de que experimentan estos enlaces por motivo de contaminación de frecuencias en el nodo de Alpes principalmente. [8]

Para solventar esta novedad la empresa requirió el diseño de un nuevo canal de radioenlace que opere a unas frecuencias distintas a las cuales operan los radioenlaces actuales propios y ajenos a la empresa ubicados en los nodos de Alpes y Cerro Mono, realizando el respectivo estudio de viabilidad de la propuesta, con la logística necesaria para la instalación.

Teniendo en cuenta estas consideraciones se planteó dar respuesta el interrogante, ¿Cómo diseñar un nuevo sistema de radioenlace capaz de soportar el volumen tráfico de datos de internet que demanda en horas pico la troncal Alpes – Cerro Mono de manera estable y menos susceptible a la contaminación de frecuencias presentes en los nodos?

1.3. Formulación del problema

De acuerdo a lo expuesto anteriormente se planteó la pregunta ¿Cuál es el diseño óptimo para un sistema de radioenlace que garantice el soporte de volumen de tráfico de datos de internet en la troncal Alpes-Cerro Mono en la empresa GLOBALTRONIK S.A.S.?

1.4. Justificación

Una vez iniciado el confinamiento y el aislamiento social provocado por la pandemia del Covid 19, teniendo en cuenta que muchos empleos tuvieron que migrar de las labores presenciales en las oficinas hacia el teletrabajo, y la educación necesariamente se reconvirtió hacia las clases virtuales, se generó un evidente aumento en el volumen de tráfico de internet, según el reporte del 11 de noviembre del 2020 de la Comisión de regulación de comunicaciones (CRC) del tráfico de internet durante la emergencia sanitaria declarada por el Ministerio de Salud y Protección Social, para el segundo trimestre de ese año, donde se marcó el inicio de las medidas de confinamiento, se presentó un incremento del tráfico de 31,8% respecto al trimestre inmediatamente anterior y para el tercer trimestre se presentó un incremento del tráfico de 9,37% respecto al trimestre inmediatamente anterior [8]. La situación se agudiza constantemente debido a que las personas pasan mucho más tiempo en casa y se evidencia un crecimiento en la demanda de los servicios de video por streaming, en plataformas como Netflix, Amazon Prime Video y entre otras, que saturan la red con la descarga de contenido masivo en calidad High Definition (HD). En el informe más reciente de la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), reporte no. 31 de tráfico de internet, con fecha de corte de la información del 16 de marzo de 2021, El tráfico en los primeros 15 días del mes de marzo del año 2021 presentó un crecimiento del 1,87%, con respecto al mismo periodo del mes anterior. Este último había presentado un crecimiento del 3,07% con respecto al mismo periodo de enero de 2021 [9]. Estos datos

evidencian el crecimiento permanente del volumen de tráfico de internet de los proveedores de Internet con más de 50 mil usuarios en todo el país.

La empresa Globaltronik S.A.S., con el ánimo de continuar brindando un excelente servicio a sus usuarios de internet residencial y corporativo en el departamento Norte de Santander, adelantando labores de seguimiento al tráfico de datos a través de su red, ha detectado un cuello de botella generado en la troncal principal entre los nodos de Alpes y Cerro Mono, que genera lentitud en el servicio distribuido a los municipios de Tibú, Puerto Santander, área rural de Sardinata, área rural de El Tarra, y parte del área rural de Cúcuta.

Además del aumento en la demanda de tráfico en la red, los radioenlaces actuales que soportan la troncal Alpes - Cerro Mono adolecen de pérdida de capacidad de manera constante debido a la contaminación y ruido provocados por la competencia que existe por el rango de frecuencias de operación libres presente en los nodos. Sumado a todos estos factores adversos la empresa Globaltronik S.A.S. pretende continuar ampliando su red actual con el ánimo de cubrir nuevas zonas y suplir la demanda de nuevos y potenciales clientes de internet residencial en la zona rural de Cúcuta y el municipio de Puerto Santander.

Por las razones mencionadas anteriormente se paleteó el diseño de un nuevo sistema de radioenlace con capacidad para soportar el tráfico de la troncal actual con promedio de 650 Mbps de descarga y espacio para recibir el consumo de nuevas zonas a las cuales pretende ampliarse la empresa en un futuro cercano, de esta manera ofertando un excelente servicio y manteniendo los índices de conformidad en los usuarios.

1.4.1. Impacto Esperado

Por medio del diseño de un sistema de radioenlace se podrán solucionar los problemas de baja capacidad de transmisión de datos de internet y disminuir significativamente el ruido en los

canales de la troncal principal entre los nodos de Alpes y Cerro Mono, mejorando de esta manera la estabilidad y la calidad del servicio de internet en varios municipios de la zona rural de Cúcuta, Tibú y de Puerto Santander a través del soporte del volumen de tráfico de la troncal actual de aproximadamente de 650 Mbps de descarga, también se ampliaría la capacidad de tráfico de datos para la apertura de nuevas zonas a las cuales tiene como objetivo a media plazo abarcar la empresa Globaltronik S.A.S.

1.4.2. Beneficios tecnológicos

- Haber trabajado en el área de diseño de radioenlaces con el objetivo disminuir el ruido y aumentar la capacidad de volumen de datos optimizando de esta manera la calidad de la conexión a internet en zonas de difícil acceso geográfico, permitió avanzar de manera eficaz en el campo de las telecomunicaciones y las posibles aplicaciones de dicho sistema.
- Este radioenlace permitirá ampliar la capacidad de tráfico actual que posee la troncal y le otorgará mayor estabilidad al canal de datos dejando como respaldo uno de los radioenlaces que actualmente la conforman, haciendo posible este proyecto como base para las posibles mejoras de conexión para otros sistemas de telecomunicaciones de otras regiones.

1.4.3. Beneficios institucionales

- Haber contribuido con la investigación, la práctica y el desarrollo tecnológico de los estudiantes, que a la vez ha otorgado reconocimiento a la carrera y a la institución respecto a las empresas del sector regional, esto ha permitido a los estudiantes realizar sus pasantías, aportando al proceso de re acreditación, a la calidad y al compromiso institucional.

- A través del desarrollo de proyectos en calidad de pasantía y en colaboración institucional, se les permite a los estudiantes tener acceso a los recursos de personal docente como instructores en procesos que se encuentran fuera de las instalaciones de la institución, para que estos sean desarrollados y concretados, mostrando el compromiso del programa de Ingeniería Electrónica con la educación y practica de alta calidad.

1.4.4. Beneficios académicos

- Desarrollar proyectos en calidad de pasantía y de investigación como el presente, ha permitido que los estudiantes se incentiven a la investigación y el desarrollo tecnológico que se pueden encontrar en el contexto regional, aportando a mejoras e incrementando sus habilidades a la solución de problemas en el campo, los cuales se aprendieron en el contenido programático inscrito en el programa de Ingeniería Electrónica.
- Gracias a los proyectos realizados en colaboración con empresas y debidamente culminados con éxito, ha permitido que otros estudiantes de últimos semestres de Ingeniería Electrónica, continúen con proyectos que aporten al avance tecnológico de las empresas, dejando a la carrera como primera opción para la contratación de pasantías.

1.5. Alcances

La ejecución de este proyecto buscó proponer el diseño de un sistema de radioenlace punto a punto como solución confiable y eficaz a la empresa Globaltronik S.A.S para soportar el tráfico de internet en la troncal Alpes – Cerro Mono, basándose en un estudio preliminar y una de etapa de evaluación que permitió el diagnóstico y recopilación de la información necesaria para el

cumplimiento de las especificaciones propias del diseño del sistema teniendo en cuenta la ubicación de los nodos, la contaminación de frecuencias, la capacidad de transmisión de los equipos a instalar, la robustez y confiabilidad de la propuesta final. Este radioenlace permitirá ampliar la capacidad actual que posee la troncal y le otorgará mayor estabilidad al canal de datos dejando como respaldo uno de los radioenlaces que actualmente la conforman.

1.6. Tipo de proyecto

El proyecto “Diseño de un sistema de radioenlace para soportar volumen de tráfico de datos de internet en la empresa GLOBALTRONIK S.A.S.” Corresponde al modelo de pasantía orientado al área de conocimiento tecnológico aplicado.

1.7. Limitaciones y delimitaciones

Al realizar el diseño de un sistema de radioenlace para soportar el volumen de tráfico de datos de internet en la empresa GLOBALTRONIK S.A.S. se presentaron las siguientes limitaciones y delimitaciones:

1.7.1. Limitaciones

- El acceso al nodo de Cerro Mono resulta complejo debido a la ubicación, se debe transitar una carretera destapada en un recorrido de aproximadamente una hora en carro, y para acceder a la torre se debe subir un cerro a pie una distancia aproximada de un kilómetro.
- La instalación de los nuevos equipos debe poder realizarse con la infraestructura actual existente en cada uno de los nodos.

1.7.2. Delimitaciones

El proyecto se ejecutó en tres (3) fases principales, iniciando con el diagnóstico y recopilación de información necesaria como estadísticas de tráfico a través de la troncal, estadísticas de fallas

y capacidad de cada uno de los tres radio-enlaces actuales; en esta etapa también se definieron los requerimientos técnicos de la propuesta para el nuevo radioenlace.

Seguidamente se realizó el diseño del radioenlace teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de los equipos a utilizar y los costos con sus ventajas y desventajas para el diseño final, siendo la empresa Globaltronik S.A.S. quien tomó la decisión de que equipos utilizar. En la tercera fase se evaluó mediante simulación por software especializado la propuesta de diseño final que cumplió con las características exigidas por la empresa.

1.8. Objetivos

1.8.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de radioenlace para soportar el volumen de tráfico de datos de internet en la troncal Alpes – Cerro Mono de la empresa Globaltronik S.A.S.

1.8.2. Objetivos específicos

- Identificar el sistema de radioenlaces actual que conforma la troncal Alpes – Cerro Mono.
- Recopilar información estadística del volumen de tráfico, capacidad del canal y fallas que se generan en el actual sistema de radioenlaces.
- Realizar un estudio comparativo entre los equipos y marcas disponibles en el mercado para el diseño del radioenlace.
- Diseñar el sistema de radioenlace teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de capacidad y calidad necesarias.
- Evaluar el diseño del radioenlace mediante simulación por software.

2. Marco Referencial

Con el objetivo de elaborar el marco referencial se tomaron antecedentes prácticos y teóricos relacionados con el tema de las técnicas para la transmisión de datos a través de radioenlaces.

2.1. Antecedentes

El proyecto “Diseño de un sistema inalámbrico para integrar los servicios de telecomunicaciones, en las sedes que tiene en el Cauca la IPS-I ACIN. Un aporte a la salud intercultural” En este trabajo otorgó una posible solución a la problemática de la falta de un sistema de telecomunicaciones de la Institución Prestadora de Servicios de Salud Indígena IPS-I ACIN a través del diseño de un sistema de radioenlace y redes Wireless para llevar internet banda ancha y telefonía IP a las sedes de la institución en los resguardos indígenas del norte del departamento del Cauca. [10]

El proyecto “Diseño de radio-enlace de comunicaciones desde el municipio de El Cocuy a las instituciones educativas rurales La Playa, Tobalito, El Cardón, Carrizalito e Isleta.” Mediante este proyecto se realiza un estudio de viabilidad para el diseño de un sistema de radioenlace que permita llevar internet desde la alcaldía del Municipio de El Cocuy hacia cinco (5) instituciones educativas rurales, analizando mediante sistemas de georreferencia si existe línea de vista desde la alcaldía hacia cada una de las sedes para implementar radioenlaces de punto a punto, donde finalmente se concluye que no es viable y se propone optar por utilizar un sitio con más altura desde un cerro cercano al municipio para obtener línea de vista hacia las sedes. [11]

El proyecto “Diseño de un sistema de radioenlaces en la banda de 400 MHz para el monitoreo y control de estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla.” Para este proyecto los autores se enfocan en el diseño de un sistema de radioenlace dentro del rango de frecuencias de los 400MHz, realizan un análisis del espectro de frecuencias en la zona para determinar el canal

adecuado para que funcione el sistema sin ruido de señales externas y obtienen las especificaciones del diseño mediante el software Radio Mobile y Pathloss, como, perfiles geográficos, zonas Fresnel, potencia, ganancia, entre otros. [12]

El proyecto “Estudio de factibilidad técnica e implementación de radioenlace backup con servicios Qos y políticas de seguridad para la empresa asevig-liderman cía. Lta” En este proyecto se realiza el estudio de factibilidad de un sistema de radioenlace punto a punto que funcione como backup para un sistema de telecomunicación ya existente garantizando la calidad en el servicio y disponibilidad de la comunicación entre los dos puntos de manera ininterrumpida. [13]

El proyecto “Diseño e Implementación de un radioenlace con tecnología IP entre las Repetidoras Comando Conjunto De Las Fuerzas Armadas (Comaco) - Cayambe para brindar los servicios de datos y VoIP.” El proyecto realiza el diseño e implementación de un sistema de radioenlace punto a punto mediante equipos con tecnología que trabaja en el rango de frecuencias de los 5 GHz para el transporte de datos y VoIP con los equipos comerciales Radwin de la serie 2000 y utilizando el software propio de esta marca para la elaboración del diseño de acuerdo a la geografía y distancia del enlace. [14]

2.2. Marco teórico

2.2.1. Sistema de Radioenlace por microondas.

Esta definición hace referencia al conjunto de elementos que conforman un sistema electrónico de comunicaciones inalámbricas mediante ondas de radio entre puntos fijos o móviles, con la capacidad de transmitir información entre ellos a través del aire mediante el uso de ondas electromagnéticas en el rango de las frecuencias considerado como microondas, entre 1 GHz y 300 GHz según los estándares IEC 60050 e IEEE 100. Los sistemas de radioenlace

pueden ser punto a punto, si interconectan dos puntos, o pueden ser punto multipunto si interconectan tres (3) o más puntos. [15]

2.2.2. Elementos que conforman un sistema básico de radioenlace.

Los sistemas de radioenlace punto a punto están conformados básicamente por cuatro (4) elementos primordiales, un transmisor o AP del inglés (Access Point), un receptor o estación, dos líneas de transmisión y dos antenas; estos elementos en los sistemas modernos pueden estar integrados dentro de un solo equipo, tanto en el AP como en la estación. [16]

2.2.3. Funcionamiento de un sistema de radioenlace.

El transmisor o AP genera una señal a través de una onda portadora modulada de una manera determinada con una frecuencia y potencia específica, la transfiere a la línea de transmisión o medio guiado, por ejemplo, un cable coaxial, y la lleva hasta la antena, que se encarga de emitir la señal hacia el espacio libre.

La antena del receptor o estación, que apunta a la del emisor y que debe tener línea de vista hacia el mismo, recoge la energía de la señal y la pasa a la línea de transmisión que conecta con el receptor para posteriormente ser demodulada y procesada para interpretar la información recibida. [17]

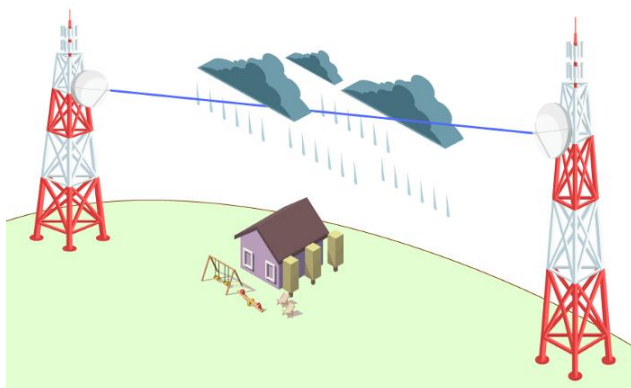


Figura 1. Sistema de transmisión y recepción por radioenlace. Imagen tomada de. [17]

2.2.4. Conceptos clave en el diseño de un sistema de radioenlace.

Existen varios conceptos básicos a tener en cuenta para el diseño de los sistemas de radioenlace.

2.2.4.1. Línea de vista.

Este concepto hace referencia como su nombre lo indica a la visibilidad libre de obstáculos entre los puntos que conforman un sistema de radioenlace. En primera instancia para el diseño de un sistema de radioenlace se debe constatar que entre los puntos a interconectar no existan obstáculos geográficos tales como cerros o montañas. Por esta razón las antenas suelen ser ubicadas en puntos geográficamente altos o en torres de telecomunicaciones o edificios de una altura considerable para evitar además de los obstáculos geográficos y de relieve, la vegetación alta como árboles frondosos o edificaciones características de las grandes ciudades.

2.2.4.2. Zonas de Fresnel.

Para el diseño de un sistema de radioenlace se debe calcular o identificar qué zona del espacio debe estar libre entre el emisor o AP y el receptor o estación para evitar el efecto de reducción de la potencia de la señal por interferencia destructiva o por la cancelación por fase que causan las ondas reflejadas y refractadas en los posibles obstáculos y el suelo entre la distancia que separa las antenas. [18]

Podemos imaginar las zonas de Fresnel como varias elipses en 3D. Todas tienen la misma distancia entre antenas (d en la imagen), pero cada una dispone de un radio al centro (r en la imagen) cada vez mayor:

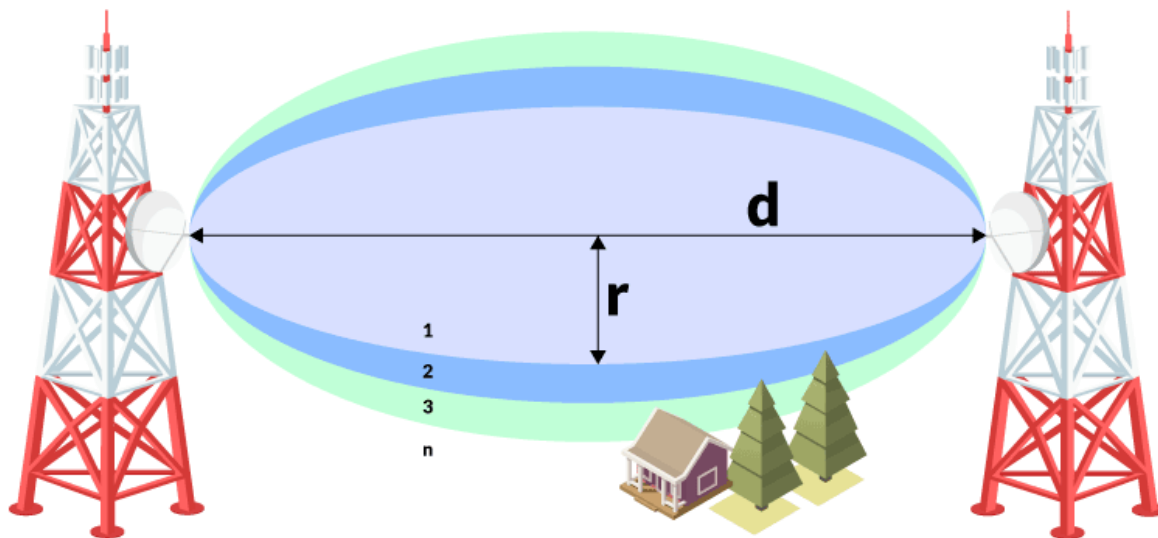


Figura 2. Zona de Fresnel. Imagen tomada de. [18]

La zona 1 es la que más afecta a la intensidad de la señal, la zona 2 afecta menos que la 1, la zona 3 afecta menos que la 2 y así sucesivamente

Existe un número infinito de zonas (n) pero habitualmente se realizan los cálculos hasta la 3ª zona, porque a partir de ella, el efecto de cancelación se hace despreciable.

Las zonas de Fresnel se calculan según esta fórmula:

$$Fn = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Donde:

n: es el número de zona: 1, 2, 3...

λ : es la longitud de onda de la señal emitida

d1: es la distancia del punto donde calculamos el valor de la zona a la antena emisora

d2: es la distancia del punto donde calculamos el valor de la zona a la antena receptora

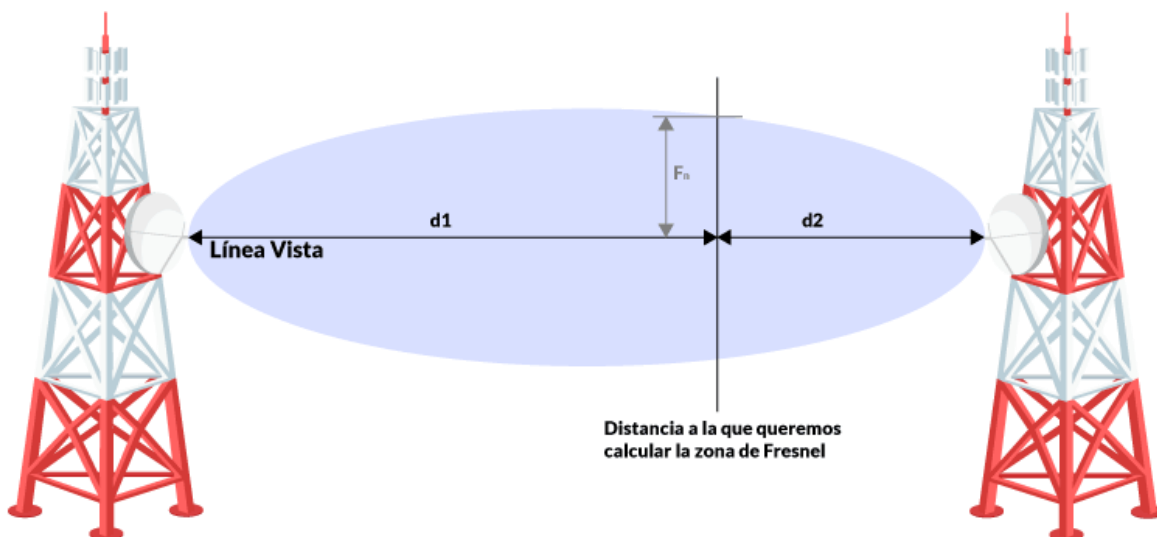


Figura 3. Representación de la zona de Fresnel. Imagen tomada de. [18]

En la práctica, es muy habitual calcular el máximo radio en metros de la primera zona de Fresnel o haz radioeléctrico. Este valor tiene lugar en el centro del radioenlace. En este punto, d1 es igual a d2, y la fórmula nos quedaría así:

Zona primera de Fresnel cálculo en metros:

$$F_1 [m] = 8.656 \sqrt{\frac{D [km]}{f [GHz]}}$$

Donde:

D: es la distancia en km entre antenas

f: es la frecuencia en GHz de la señal transmitida

Las zonas de Fresnel son muy útiles a la hora de diseñar y construir radioenlaces, pues nos permiten calcular si los obstáculos entre antenas van a resultar un problema de pérdida de señal.

En general, el estándar en el diseño de radioenlaces para considerarlos aceptables es que la 1ª zona de Fresnel debe estar despejada en un 60% a lo largo de toda su extensión.

Despeje de obstáculo en primera zona de Fresnel

Es decir:

$$r_2 \geq r_1 \cdot 0,6$$

Siendo:

r1: el radio o distancia resultante de calcular la primera zona de Fresnel a la distancia del obstáculo.

r2: el radio o distancia desde el punto más elevado del obstáculo hasta la línea vista entre las 2 antenas. [18]

2.2.5. La curvatura de la tierra.

Cuando hablamos de obstáculos pensamos en objetos, pero hay otra cosa más grande que también puede producir problemas: la tierra.

Si la distancia entre antenas es muy grande, la curvatura terrestre puede interferir en la señal de varias maneras:

- Aumentando la altura de los obstáculos intermedios.
- Curvando el haz electromagnético como consecuencia de la refracción troposférica.
- Convirtiéndose ella misma en un obstáculo.

A la hora de calcular la altura de los obstáculos y ver si sobrepasan el 60% de la 1ª zona de Fresnel, tendremos que aplicar un factor corrector, también conocido como flecha:

Fórmula de flecha o corrección de altura en radioenlaces

$$f = \frac{d_1 d_2}{2ka}$$

Donde:

d1: es la distancia del punto donde calculamos el valor de la zona a la antena emisora

d2: es la distancia del punto donde calculamos el valor de la zona a la antena receptora

k: es la constante de la tierra ficticia, habitualmente 4/3

a: es el radio de la tierra (6370 km). [18]

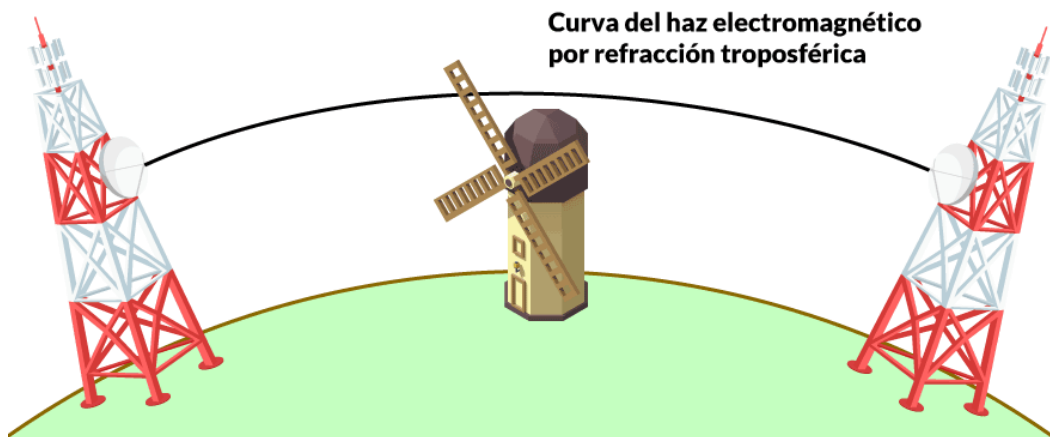


Figura 4. Curva del haz electromagnético por refracción troposférica. Imagen tomada de. [18]

2.3. Marco legal

Para el desarrollo de este proyecto es importante tener presente las normativas por las cuales se rige las telecomunicaciones en Colombia, las cuales se mencionarán a continuación:

La “Ley 1341 de 2009” define los principios, conceptos y formula las políticas públicas sobre la sociedad de la información y la organización de las tecnologías de la información y las comunicaciones TIC, de acuerdo con esto se creó la Agencia Nacional de Espectro y se dictan otras disposiciones, como también el ordenamiento, competencia, protección al usuario, cobertura, calidad de los servicios, promoción de la inversión en el sector del desarrollo de las tecnologías, esta ley rige a este proyecto, debido a que la empresa Globaltronik S.A.S se acobija y debe cumplir estas normas. [19]

El “Código de buenas prácticas para el despliegue de redes de comunicaciones” es un documento encargado de expedir los actos administrativos que contienen las obligaciones a las cuales las empresas deben dar cumplimiento a los lineamientos y se encarga de dar a conocer las normas de exposición a campos electromagnéticos adoptados por el gobierno nacional, como también sobre la instalación en los diferentes tipos de infraestructuras, suelos y estándares de

construcción que garantice el cumplimiento de los estándares establecidos para mitigar los impactos al medio ambiente. [20]

La “Ley 72 de 1989” hace referencia a los servicios, las redes, las actividades y los proveedores, sobre los servicios de telecomunicaciones, informáticos y de telemática y servicios especializados de telecomunicaciones o servicios de valor agregado, es decir todas las transmisiones y recepción de datos e información. [21]

3. Diseño Metodológico

Teniendo en cuenta el objetivo general del proyecto de diseñar un sistema de radioenlace para soportar el volumen de tráfico de datos de internet en la troncal Alpes – Cerro Mono de la empresa Globaltronik S.A.S., se planteó la metodología desarrollada en la ejecución del proyecto que permitió el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos del mismo.

3.1. Identificar el sistema de radioenlaces actual que conforma la troncal Alpes – Cerro Mono.

3.1.1. Actividad

Identificar los equipos de telecomunicaciones ubicados en la troncal Alpes - Cerro Mono observando sus datasheet.

Realizar visitas presenciales y/o ingresar en las bases de datos de los servidores de la empresa Globaltronik S.A.S. donde se encuentren registradas las referencias de los equipos de telecomunicaciones.

3.1.2. Metodología.

En esta primera etapa se realizó el proceso de identificación de cada uno de los equipos de telecomunicaciones que conforman la troncal actual Alpes – Cerro Mono, teniendo en cuenta sus características y especificaciones técnicas basadas en sus datasheet. Esta información se obtuvo de manera presencial visitando ambos nodos y/o teniendo acceso a la base de datos del servidor de la empresa Globaltronik S.A.S. donde se encuentran registradas las referencias de los equipos en mención.

3.2. Recopilar información estadística del volumen de tráfico, capacidad del canal y fallas que se generan en el actual sistema de radioenlaces.

3.2.1. Actividad

Ingresar a las interfaces gráficas de los equipos de telecomunicaciones para observar el volumen de tráfico y la capacidad de cada uno de los radioenlaces.

Recopilar los datos obtenidos del monitoreo de respuesta a ping de los radioenlaces a través del software PRTG Network Monitor, durante un periodo de tiempo definido que será

significativo para analizar estadísticamente el comportamiento del sistema e identificar las fallas que presenta el mismo.

Definir la capacidad de transmisión ideal que debe tener el sistema de radioenlace para el diseño del soporte del tráfico de la troncal.

3.2.2. Metodología

Teniendo acceso a la red de comunicaciones de la empresa fue posible ingresar a las interfaces graficas de los equipos de telecomunicaciones las cuales tienen aplicaciones que permiten observar el volumen de tráfico y la capacidad de cada uno de los radioenlaces, de la misma manera la empresa cuenta con un sistema de monitoreo que guarda las estadísticas de disponibilidad de respuesta a ping de cada uno de los equipos que conforman la red. Se recopiló estos datos durante un periodo de tiempo definido que fue significativo para analizar estadísticamente el comportamiento del sistema e identificar las fallas que presenta el mismo. Además, fue necesario definir en esta etapa la capacidad de transmisión ideal que deberá tener el sistema de radioenlace que diseñó para soportar el tráfico de la troncal.

3.3. Realizar un estudio comparativo entre los equipos y marcas disponibles en el mercado para el diseño del radioenlace.

3.3.1. Actividad

Buscar equipos disponibles en el mercado que cumplan con las características necesarias para el diseño del sistema

Comparar tres posibles soluciones a partir de un análisis sus ventajas y desventajas.

3.3.2. Metodología

Teniendo en cuenta la capacidad en cuanto a tráfico que debe soportar la troncal se realizó una búsqueda de los equipos disponibles en el mercado que cumplen con las características necesarias para el diseño del sistema y se realizó una comparativa entre tres (3) posibles soluciones confrontando las ventajas y desventajas que tienen cada una para el cumplimiento de los requerimientos del diseño.

3.4. Diseñar el sistema de radioenlace teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de capacidad y calidad necesarias.

3.4.1. Actividad

Seleccionar los equipos más viables para el diseño del sistema de radioenlace y que se ajusten a las políticas y decisiones de la empresa Globaltronik S.A.S.

Definir la logística necesaria para el montaje de los equipos en las torres de cada uno de los nodos.

3.4.2. Metodología.

En esta etapa se seleccionaron los equipos a utilizar para el diseño del sistema de radioenlace y su configuración, teniendo en cuenta que es la empresa Globaltronik S.A.S. fue quien tomó la decisión final basada en lo que se sugirió con el desarrollo del proyecto, de la misma manera se definió la logística necesaria para el montaje de los equipos en las torres de cada de los nodos, presentando así la propuesta final de diseño del sistema de radioenlace.

3.5. Evaluar el diseño del radioenlace mediante simulación por software.

3.5.1. Actividad.

Simular el diseño en el programa en línea Mimosa Design estableciendo los parámetros analizados en el diseño del sistema de radioenlace.

Destacar las conclusiones y recomendaciones que se entregará a la empresa Globaltronik S.A.S. para el momento de la implementación el diseño del soporte de volumen de datos, cumpla con los requerimientos.

3.5.2. Metodología.

En la etapa final se realizó el proceso de simulación en el programa en línea Mimoso Design, del diseño de acuerdo a las especificaciones establecidas por el sistema, para conocer el comportamiento del diseño y establecer los parámetros que fueron entregados a la empresa Globaltronik S.A.S.

4. Resultados

En este capítulo se describen los resultados obtenidos una vez desarrollada la metodología para cumplir con los objetivos propuestos.

4.1. Equipos de telecomunicaciones troncal Alpes - Cerro Mono

Para dar inicio a la ejecución de la pasantía con la primera actividad propuesta se recibió por parte del coordinador de infraestructura de la empresa Globaltronik S.A.S. una inducción a modo de charla acerca de la actividad económica de la empresa como ISP (por las siglas en inglés de Internet Service Provider) proveedor de servicios de internet, por medio de redes de radioenlaces con el objetivo de identificar el diseño de la red, se inició con el nodo principal ubicado en las oficinas de la empresa en el barrio caobos hasta llegar al municipio de Tibú, pasando por cada uno de los nodos intermedios y detallando en especial en la troncal Alpes - Cerro Mono el sistema de radioenlace actual conformado por tres canales, cada uno de estos radioenlaces o canales estaban basados en equipos o radios de distintas tecnologías, Ubiquiti Airfiber 5X, Mimosa C5C y Mimosa B5C respectivamente.

Conocidos los nombres de los equipos de telecomunicaciones se procedió a consultar los datasheets de cada uno e identificar sus características principales y especificaciones para posteriormente plasmar esta información de manera ordenada en la Tabla 1, la Tabla 2 y la Tabla 3 respectivamente para cada una de las referencias de radios.

En este proceso se evidenció que los radios Ubiquiti Airfiber 5X requieren una antena diseñada específicamente para esa referencia [22], mientras que los radios Mimosa C5C [23] y Mimosa B5C no cuentan con antena propia sino que requieren la compra por separado de la misma y permiten la utilización de antenas de polarización dual de otros fabricantes [24];

sabiendo esto se confirmó en conversación con los técnicos de soporte de infraestructura que las antenas que se utilizan para estos radios son Rocket Dish de la marca Ubiquiti de 30 dBi y 34 dBi respectivamente [25].

Tabla 1. Especificaciones radio Ubiquiti Airfiber 5X

<i>Ubiquiti Airfiber 5X</i>	
Rango de frecuencia	5150 - 5950 MHz
Rendimiento máximo	500+ Mbps
Modulación:	1024QAM MIMO, 256QAM MIMO, 64QAM MIMO, 16QAM MIMO, QPSK MIMO, ½ Rate QPSK xRT
Ancho de banda	10/20/30/40/50 MHz
Potencia máxima de salida	26 dBm
Distancia de enlace	300+ km
Antena	AF-5G34-S45
Modo de operación	TDD, FDD y HDD

Tabla 2. Especificaciones radio MIMOSA C5C

<i>MIMOSA C5C</i>	
Rango de frecuencia	4900-6400 MHz
Rendimiento máximo	700 Mbps IP
Modulación:	2x2:2 MIMO up to 256-QAM
Ancho de banda	20/40/80 MHz channels tunable to 5 MHz

Potencia máxima de salida	27 dBm
Distancia de enlace	50+ Km
Antena	RD-5G30-LW
Modo de operación	OFDM

Tabla 3. Especificaciones radio MIMOSA B5C

<i>MIMOSA B5C</i>	
Rango de frecuencia	4900–6200 MHz
Rendimiento máximo	Up to 1.5 Gbps IP
Modulación:	4x4:4 MIMO up to 256QAM
Ancho de banda	Single or Dual 20/40/80 MHz channels
Potencia máxima de salida	30 dBm (2-stream) o 27 dBm (4-stream)
Distancia de enlace	50+ Km
Antena	RD-5G34
Modo de operación	OFDM

Una vez elaboradas las tablas con las especificaciones de cada uno de los radios se procedió a analizar sus características, en este proceso se observó que las referencias de Mimosa cuentan con mayor rango de frecuencia de operación y a su vez mayor rendimiento en capacidad de tráfico máxima, además se pudo evidenciar lo poco homogéneo que resulta ser este sistema de radioenlaces que conforman la troncal Alpes – Cerro Mono en cuanto a las referencias de los equipos. Conocida la historia de la empresa Globaltronic, la falta de consistencia en los equipos que conforman esta troncal se puede explicar debido a que el consumo de tráfico de internet a

través de ella ha ido creciendo paulatinamente junto con la cantidad de zonas que ha alcanzado la empresa y la adquisición de nuevos clientes en las áreas que soporta esta troncal a través de los años, por esta razón han ido agregando radioenlaces de distintas referencias para aumentar la capacidad máxima de tráfico y rendimiento del sistema.

4.2. Sistema de monitoreo de red

En esta etapa se recibieron capacitaciones e inducciones acerca de la identificación y manejo de los sistemas de monitoreo de los equipos de telecomunicaciones que a su vez funcionan como base de datos donde están registradas las referencias de los dispositivos de radioenlace y equipos de administración y soporte de la red de la empresa. El sistema de monitoreo de red utilizado por Globaltronik es el software PRTG NETWORK MONITOR, el cual está instalado en varias máquinas virtuales alojadas en el servidor principal de la empresa y al cual se puede acceder dentro de la red corporativa a través de la dirección IP de cada una de estas máquinas virtuales. Este sistema está conformado actualmente por un total de 11 máquinas virtuales para poder monitorear la totalidad de la red de manera ordenada y dividiendo la infraestructura total desde las troncales principales hasta las subredes más pequeñas.

Para obtener el acceso a la base de datos dentro de los servidores de la empresa se recibió por parte del coordinador de soporte técnico un usuario de red asignado para iniciar sesión en cualquier computador dentro del dominio corporativo en las oficinas de Globaltronik, de esta manera se pudo acceder a la herramienta PRTG y se logró identificar los equipos de telecomunicaciones y de red que conforman los nodos de Alpes y de Cerro Mono respectivamente.

Desde la herramienta PRTG se pudieron identificar mediante el nombre asignado a cada equipo las características de los dispositivos de cada nodo como dirección IP, marca, referencia, y función dentro de la red. La primera parte del nombre son los dos últimos octetos de la dirección IP del equipo, seguido y separado por el símbolo guion bajo va la marca del dispositivo que puede ser MIMOSA, UBNT, CAMBIUM o MKT; posteriormente se escribe la referencia, el modo de operación y la función. A continuación, se enumeran y definen las funciones de los dispositivos utilizados en los nodos de Alpes y Cerro Mono.

- SW: Switch, dispositivo de red que permite interconectar equipos de red como radios, routers o cualquier otro dispositivo de red mediante conexión cableada ethernet o fibra óptica
- AP: Access point, radio que funciona como punto de acceso para conectar con una estación en otro nodo
- EST: Estación, radio que funciona como punto de llegada a un nodo conectándose a un AP de otro nodo.
- PMPT: Punto multipunto, también conocidos como sectoriales, son radio que funciona como punto de acceso para conectar con varios radios estaciones ubicados en diferentes puntos o nodos.

La función principal de la herramienta PRTG es monitorear la disponibilidad de los equipos, por eso frente al nombre de cada dispositivo se ubica un sensor de Ping que muestra en tiempo real el estado actual, el color verde representa el estado activo y sin novedad, el color amarillo muestra que está activo pero tiene un comportamiento inusual del tiempo promedio de respuesta

a Ping, que puede ser inusualmente bajo, lo que es favorable o inusualmente alto, lo que permite identificar y predecir fallas en los dispositivos, por último el color rojo representa falla es decir ausencia de respuesta a ping del equipo.

4.3. Dispositivos de red en el nodo Alpes

La Figura 5 muestra una captura de pantalla del PRTG de los dispositivos que conforman el nodo de Alpes. Se evidenció por la cantidad de equipos que se trata de un nodo principal que conecta con otros nodos principales como Cerro Mono y Pomarroso y nodos secundarios como Cerro pico y el Zulia.

Además de los radios que comunican con otros nodos, en Alpes también están instaladas varias sectoriales y radios AP que conectan a la red estaciones de usuarios residenciales de servicio de internet y clientes corporativos como lo es CENS EPM. Todos estos radios están conectados a dos Switch, uno principal y otro secundario que dan soporte y permiten administrar y monitorear la red en este nodo. En total en Alpes se encuentran instalados 17 radios y dos Switch de red.

Al momento de tomar la captura de pantalla el sensor de ping del radio AP que conecta con el nodo de Pomarroso se encontraba en falla, pero sin embargo ese radio estaba activo, la falsa alarma se debe a que los radios de las referencias de la marca Mimosa no entregan respuesta a ping de manera continua a pesar de estar perfectamente enlazados y conectados a la red, esta falla se estudió a fondo más adelante en el análisis de las ventajas y desventajas de cada referencia.

IP Address	Device Name	Status	Action
99.30	MIMOSA_B24_PTP_EST_BULEVAR	U	Ping
99.91	MIMOSA_C5X_PTP_EST_BULEVA...	✓	Ping
99.16	MKT_RB75D6R3_SW_ALPES_VOL...	U	Ping
99.225	MKT_CRS125246_SW_ALPES2...	✓	Ping
99.241	MIMOSA_B5C_PTP_AP_CERRO ...	U	Ping
99.180	MIMOSA_B5LITE_PTP_AP_CERR...	✓	Ping
99.120	MIMOSA_B11_PTP_AP_CERRO ...	✓	Ping
99.118	MIMOSA_B5C_PTP_AP_POMAR...	!!	Ping
99.45	MIMOSA_C5C_PTP_AP_ALPES_T...	U	Ping
99.34	CAMBIUM_FORCE300_PTP_AP_C...	✓	Ping
49.200	UBNT_LBE5ACGEN2_PTP_AP_CA...	U	Ping
49.100	UBNT_PB5ACGEN2_PTP_AP_SA...	U	Ping
42.100	MIMOSA_C5X_PTP_AP_ZULIA	U	Ping
15.74	UBNT_LBE5AC_PTP_AP_TALLERE...	✓	Ping
15.75	UBNT_LBE5ACGEN2_PTP_AP_CEN...	U	Ping
15.76	UBNT_LOCOM900_PTP_AP_CENS...	U	Ping
15.77	UBNT_LOCOM900_PTP_AP_CENS...	U	Ping
2.27	UBNT_RM5-19120_PMPT_CUCUTA -...	✓	Ping
2.28	UBNT_RM5-19120_PMPT_CUCUTA ...	U	Ping

Figura 5. PRTG dispositivos nodo Alpes.

La información obtenida acerca de las referencias de los radios y las cantidades de cada uno de estos dispositivos ubicados en el nodo de Alpes de la empresa Globaltronik se organizó como se muestra en la Tabla 4 teniendo en cuenta la frecuencia de operación de cada uno. Cabe destacar que 14 de los 17 radios de Alpes operan en la banda de frecuencias de los 5 GHz, esta información se tuvo en cuenta más adelante a la hora de analizar el espectro de frecuencias disponibles en esa ubicación.

Tabla 4. Radios en el nodo de Alpes

Cantidad	Referencia	Frecuencia de operación
1	Ubiquiti Airfiber 5X	5 GHz (5.150-5.950 GHz)
2	MIMOSA C5C	5 GHz (4.900-6.400 GHz)
2	MIMOSA B5C	5 GHz (4.900-6.200 GHz)
1	MIMOSA B24	24 GHz (24.0 -24.25 GHz)
2	MIMOSA C5X	5 GHz (4.9-6.4GHz)
1	MIMOSA B5LITE	5 GHz (4.900-6.200 GHz)
1	CAMBIUM FORCE300	5 GHz (4.910-6.135 GHz)
2	UBIQUITI LB5AC GEN2	5GHz (5.150 – 5.875 GHz)
2	UBIQUITI PB5ACGEN2	5GHz (5.150 – 5.875 GHz)
1	UBIQUITI LB5AC	5GHz (5.150 – 5.875 GHz)
2	UBIQUITI NSLOCOM900	0.9GHz (0.902 - 0.928 GHz)

4.4. Dispositivos de red en el nodo Cerro Mono

Cerro Mono es un nodo de vital importancia ya que por su ubicación geográfica y altitud permite conectar con municipios como Tibu y Puerto Santnader al igual que varios corregimientos y veredas de la zona del Catatumbo como Campo dos, Campo Giles, San Martín de Loba y Petrolea, sumados a otros de la zona rural de Cúcuta como Banco arena y Agua Clara.

En Cerro Mono se encuentran instalados tres estaciones que reciben desde el nodo de Alpes, 12 Accesos Pónticos que conectan con las poblaciones mencionadas anteriormente y otros nodos

terciarios como La Mirla y Puerto Nuvo; por ultimo este nodo cuenta con un solo PMPT que conecta varias estaciones de CENS en la zona rural del municipio de Tibu. Todos los dispositivos mencionados suman un total de 15 radios de Globaltronik y 2 switch de red que los interconectan, ademas de otros radios de la empresa Tricom Telecomunicaciones con quienes se comparte la torre.

Analizada la cantidad de Radios instalados en la torre de Cerro Mono se pudo evidenciar la competencia que se genera por espacio en el espectro de frecuencias de los 5 GHz que es la frecuencia de uso libre mas utilizada por los radioenlaces de mediana capacidad en este nodo al igual que sucede en Alpes.

La figura 6 muestra una captura de pantalla del PRTG de los dispositivos de radio que conforman el nodo de Cerro Mono de la empresa Globaltronik y en la Tabla 5 se organizan los dispositivos por cantidad de cada referencia y su frecuencia de operación.



Figura 6. PRTG dispositivos nodo Cerro Mono.

Tabla 5. Radios en el nodo de Cerro Mono

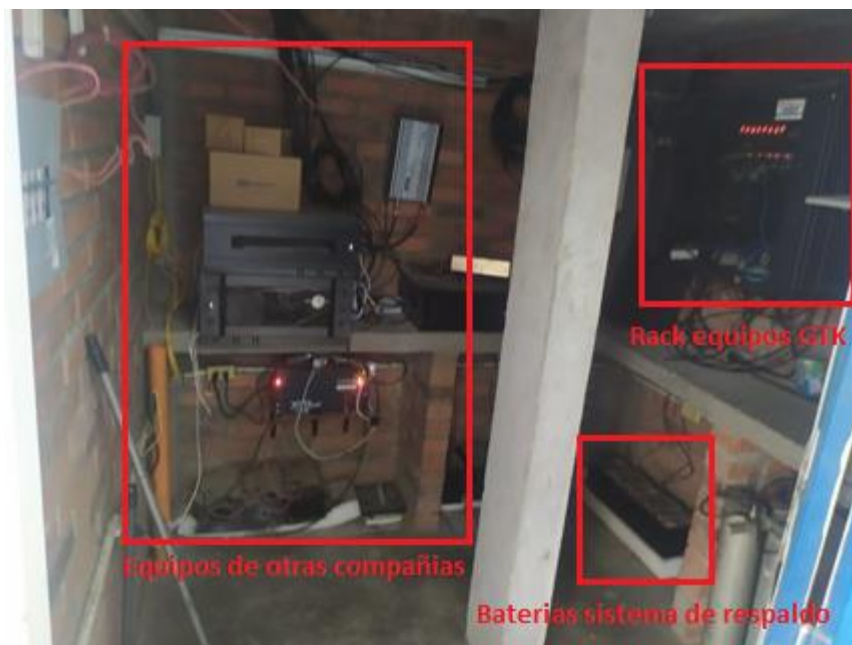
Cantidad	Referencia	Frecuencia de operación
1	UBIQUITI AIRFIBER 5X	5 GHz (5.150-5.950 GHz)
4	MIMOSA C5C	5 GHz (4.900-6.400 GHz)
2	MIMOSA B5C	5 GHz (4.900-6.200 GHz)
1	MIMOSA B24	24 GHz (24.0 -24.25 GHz)
2	MIMOSA C5X	5 GHz (4.9-6.4GHz)

1	MIMOSA B5LITE	5 GHz (4.900-6.200 GHz)
1	CAMBIUM FORCE300	5 GHz (4.910-6.135 GHz)
2	UBIQUITI LB5AC GEN2	5GHz (5.150 – 5.875 GHz)
2	UBIQUITI PB5ACGEN2	5GHz (5.150 – 5.875 GHz)
1	UBIQUITI LB5AC	5GHz (5.150 – 5.875 GHz)
2	UBIQUITI NSLOCOM900	0.9GHz (0.902 - 0.928 GHz)

4.5. Reconocimiento nodo Alpes

Iniciando esta etapa se realizó una visita de reconocimiento al nodo de Alpes que se encuentra ubicado en el sector más alto del barrio Los Alpes de la ciudad de Cúcuta, un mirador desde donde se tiene línea de vista con el centro de la ciudad y con el nodo de Cerro Mono, la figuras 7 y la figura 8 muestran la evidencia fotográfica de esta visita.

Al lado derecho en la parte superior de la figura 7 se observa el gabinete de los equipos de Globaltronik donde se encuentran ubicados los dos Switch de red, el router testigo de voltaje y el controlador de carga para las baterías que respaldan el nodo que se observan en la parte inferior de la figura, los equipos ubicados al lado izquierdo pertenecen a la empresa Tricom con quien se comparte la torre.



*Figura 7.*Cuarto de equipos nodo Alpes.



*Figura 8.*Torre nodo Alpes.

Analizando la figura 8 se pudo observar que la estructura de la torre se queda pequeña para la gran cantidad de radios que soporta, este inconveniente es notorio cuando la fuerza del viento azota la torre haciendo que esta se mueva lo suficiente para afectar la calidad de los enlaces, en especial los de las troncales que comunican con Cerro Mono y el nodo principal de Bulevar, por esta razón el día que se realizó la visita inicio el proceso de instalación de una torre mucho más robusta al lado de la actual estructura.

4.6. Interfaz gráfica de los radios Mimosa

Continuando con el proceso de identificación de los equipos de telecomunicaciones de la troncal Alpes – Cerro Mono se ingresó a las interfaces graficas de cada uno de los radioenlaces que la conforman para observar y analizar su configuración en el panel principal o dashboard de los AP. Para los enlaces de punto a punto PTP los radios acces point son los que llevan la configuración del sistema, por esta razón basta con entrar a la interfaz del AP para tener acceso a la información y aplicar cambios o ajustes en el modo de operación del radioenlace. En la figura 9 se observa el dashboard del radioenlace Mimosa B5c de la troncal Alpes – Cerro Mono.

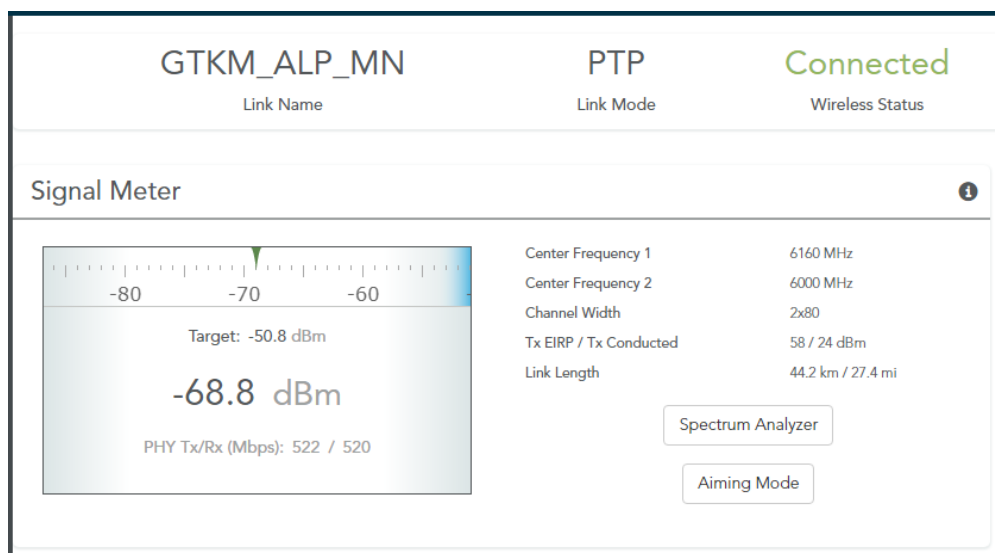


Figura 9. Dashboard Mimosa B5c

Para conocer la capacidad de tráfico del radioenlace Mimosa B5c se debe observar la sección Signal Meter en el Dashboard donde muestra la intensidad de la señal medida en dBm, para este caso al momento de la observación este valor era de -68.8 dBm con un Target de -50.8 dBm, el target hace referencia a la intensidad de señal ideal que debería tener el sistema calculada por el software del radio teniendo en cuenta la distancia entre el AP y la estación. Las velocidades PHY semidúplex resultantes que se muestran en la parte inferior del control del medidor de señal están correlacionadas con el MCS, índice de esquema de codificación y modulación, y representan datos sin procesar a través del enlace sin sobrecarga de protocolo. Los valores de rendimiento máximo incluyen el tamaño de la ventana TDMA y la eficiencia de la capa MAC [26]. Teniendo en cuenta esta información se dedujo que para conocer la capacidad de tráfico del radioenlace o velocidad de la capa MAC es necesario realizar un cálculo teniendo en cuenta la velocidad o tasa de la capa PHY, la eficiencia de la capa MAC y el ciclo de trabajo de la transmisión y la recepción del radioenlace [27].

4.7. Disponibilidad de la troncal Alpes – Cerro Mono

Por medio de la herramienta de monitoreo de red PRTG se obtuvieron las estadísticas de respuesta a ping de los 3 radioenlaces que conforman la troncal durante los últimos 6 meses inmediatamente anteriores a la fecha de toma de la muestra, con el objetivo de tener la data suficiente para analizar el comportamiento y la disponibilidad de cada enlace.

La figura 10 muestra el informe de ping del radioenlace C5c, la herramienta PRTG guarda el tiempo de respuesta a ping de la dirección IP del radio estación en intervalos de 15 segundos y presenta las estadísticas de tiempo y porcentaje de disponibilidad y de tiempo y porcentaje de falla al igual que el tiempo promedio de respuesta a ping, el tiempo máximo de ping y el tiempo mínimo de ping.

El informe de ping también muestra en su parte central una gráfica con los tiempos de ping a través de la muestra de tiempo seleccionada, en este caso 6 meses; la herramienta PRTG permite seleccionar el intervalo de tiempo para esta grafica que puede ser desde días, horas, minutos y hasta el intervalo mínimo de 15 segundos.

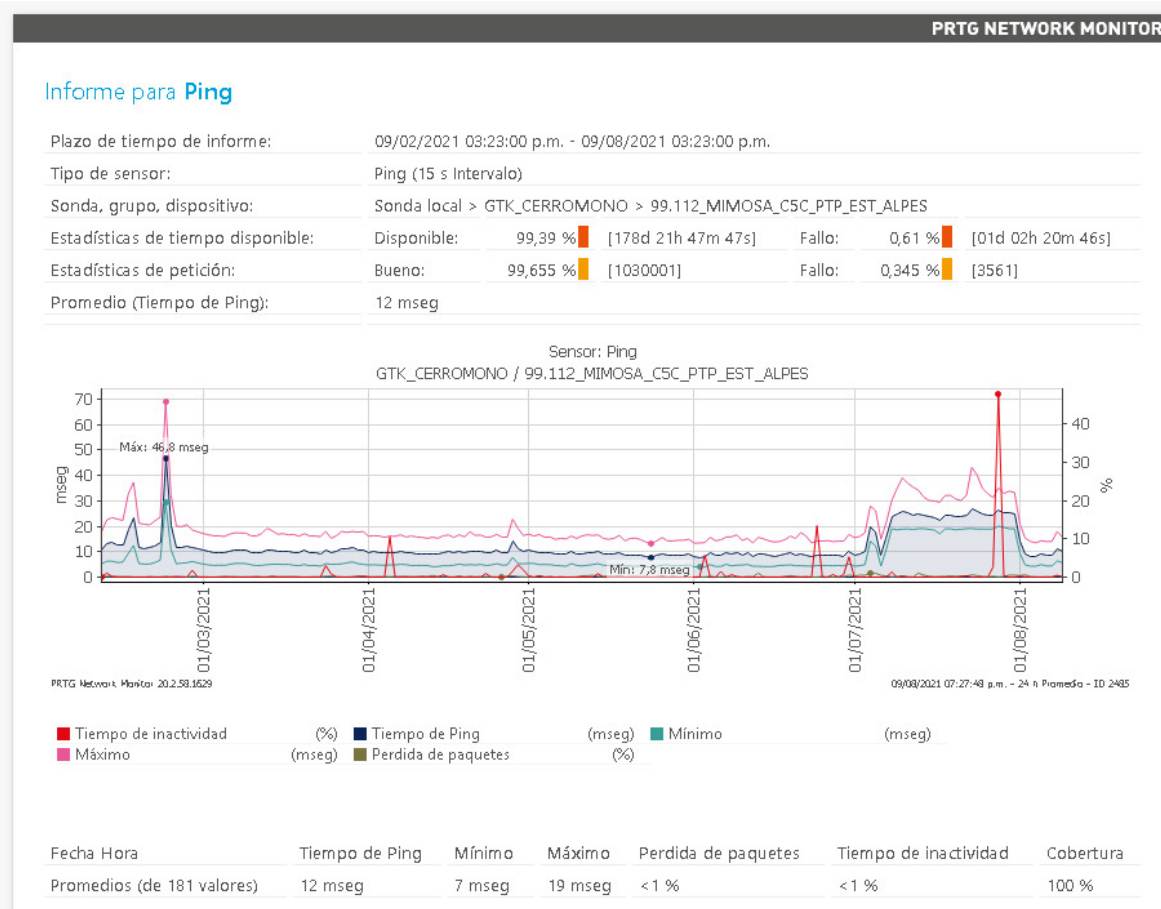


Figura 10. Informe de ping de PRTG del radioenlace C5c

A modo de comparación se organizaron los datos obtenidos en el informe ping del radioenlace C5c junto con los datos de los informes de los radioenlaces airFiber 5X y B5c respectivamente como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Comparación informe ping enlaces Alpes – Cerro Mono

Radioenlace	C5c	B5c	airFiber 5X
Disponible (%)	99.39	99.75	98.85
Disponible (ddd:hh:mm)	178:21:48	179:13:21	117:22:35
Fallo (%)	0.61	0.25	1.15
Fallo (ddd:hh:mm)	001:02:21	000:10:42	002:01:34
Ping promedio (ms)	12	10	11
Ping mínimo (ms)	7	8	8
Ping máximo (ms)	19	13	15

Se realizó el análisis de los datos obtenidos en los informes de ping de los 3 radioenlaces que conforman la troncal y se observó que el enlace con más tiempo de falla es el airFiber 5X con un porcentaje de tiempo de indisponibilidad de 1.15% que representa 2 días 1 hora y 34 minutos, mientras que el enlace más estable, por lo menos en cuanto a tiempo de disponibilidad, es el B5c con un porcentaje de falla de 0.25% que significa un tiempo de 10 horas y 42 minutos durante los 6 últimos meses.

Estos tiempos de indisponibilidad parecen ser pocos pero debido a que la empresa Globaltronik SAS maneja estándares de alta disponibilidad en las contrataciones de servicios dedicados, con empresas como CENS EPM, quienes exigen que los servicios no superen el tiempo en falla de 2 horas por mes, lo que representa un porcentaje de disponibilidad mínimo de 99.722 %, se concluyó que dos de los tres radioenlaces no cumplen con este requisito, generando pérdidas a la empresa debido a que el incumplimiento de los contratos generan descuentos en la

facturación mensual de la prestación de los servicios de telecomunicaciones que pueden llegar a ser hasta del 100% del valor de la mensualidad.

4.8. Capacidad de transmisión ideal del nuevo radioenlace.

Una vez analizadas las características y el estado del actual sistema de radioenlace se procedió a evaluar y definir la capacidad ideal de transmisión que debe tener el nuevo sistema para suplir la demanda de tráfico que exige la troncal actualmente, más un margen de capacidad que permita soportar el tráfico para la apertura de nuevas zonas de distribución de servicios de internet y la adquisición de nuevos clientes en las zonas ya alcanzadas.

Para calcular el volumen de tráfico máximo que debe soportar actualmente la troncal se propuso una ecuación donde se tuvo en cuenta la cantidad total de planes de servicios de internet de todas las zonas que soporta la troncal Alpes Cerro Mono, la velocidad promedio de descarga de esos planes, y el porcentaje de reuso promedio como se puede observar en la siguiente formula.

$$T_M = P * V_p * R_p$$

Donde

T_M = Trafico máximo

P = Cantidad total de planes de servicios de internet

V_p = Velocidad promedio en Mbps

R_p = Reusó promedio

El reuso es un recurso utilizado por los proveedores de servicios de internet que permite reducir el ancho de canal necesario para soportar el volumen de tráfico, se basa en que no todos los usuarios utilizan el canal de transmisión al mismo tiempo, por esta razón es posible ofrecer una velocidad de transmisión para ser compartida por un máximo de 10 planes de servicios de

internet en simultaneo, es decir un reuso de 1:10, donde por ejemplo, 10 usuarios que cuentan con planes de 10 Mbps son agrupados para utilizar juntos un máximo de 10 Mbps al mismo tiempo, esto ocasiona que si los 10 usuarios están utilizando el canal simultáneamente tendrán una velocidad de conexión mínima de 1 Mbps para cada uno.

Globaltronik SAS utiliza valores de reuso para planes de internet residencial de 1:4, planes de internet corporativo de 1:3 y para canales dedicados el reuso es de 1:1.

Para obtener la cantidad total de planes de servicios de internet se consultó en la base de datos de la empresa todas las zonas que dependen de la troncal Alpes Cerro Mono de la cual se obtuvo como resultado de un total de 484 servicios. El valor de la velocidad promedio de los servicios se obtuvo sumando la velocidad de cada uno de los planes y dividiendo por el total de los planes como se muestra a continuación.

$$V_p = \frac{7Mbps * 213 + 5Mbps * 161 + 3Mbps * 72 + 2Mbps * 10 + 10Mbps * 20 + 15Mbps * 8}{484}$$

$$V_p = 5.893 \text{ Mbps}$$

Ahora para obtener el valor promedio del reuso se sumaron los valores de reuso de cada uno de los planes y se dividió por la cantidad total de planes.

$$R_p = \frac{0.250 * 432 + 0.333 * 33 + 1 * 19}{484} = 0.285$$

Con estos valores se procedió a calcular el tráfico máximo a través de la troncal Alpes Cerro Mono.

$$T_M = 484 * 5.893Mbps * 0.285 = 818 Mbps$$

Este valor obtenido de tráfico máximo promedio a través de la troncal corresponde a un caso hipotético en el cual todos los usuarios estuviesen utilizando el canal en simultánea, por esta razón funciona como referencia para obtener la capacidad de tráfico ideal mínima para suplir la demanda actual de la troncal, en promedio 650 Mbps en horas pico.

La capacidad máxima actual de la troncal es de 784 Mbps, valor que está por debajo pero relativamente cercano al valor de tráfico máximo, con un déficit de 34 Mbps, teniendo en cuenta esta información se propuso como punto de partida para definir la capacidad ideal del nuevo sistema de radioenlace el valor de tráfico máximo obtenido adicionándole un 50% de ese mismo valor, es decir:

$$T_S = T_M * 1.5 = 818Mbps * 1.5 = 1227 Mbps$$

Donde

T_S = capacidad de tráfico sugerida

T_M = tráfico máximo

De esta manera se definió la capacidad de transmisión ideal para el nuevo radioenlace en 1,2 Gbps aproximadamente. El resultado obtenido se expuso al jefe de infraestructura quien aprobó la continuidad del proyecto con el objetivo de alcanzar la capacidad de tráfico mencionada como valor mínimo para el nuevo sistema de radioenlace, ya que se debe garantizar que el canal de transmisión soporte el tráfico máximo actual de la troncal y además este preparado para recibir la

carga de nuevas zonas y poblados en las cuales la empresa planea a futuro ofrecer servicios de internet.

4.9. Equipos disponibles en el mercado que cumplen con las especificaciones del diseño.

En esta etapa se inició con las actividades orientadas a buscar equipos disponibles en el mercado que cumplieran con las características necesarias para el diseño del sistema, en este proceso se tuvieron en cuenta dispositivos capaces de soportar volúmenes de tráfico superiores a 1 Gbps, los radios con estas especificaciones se denominan radioenlaces backhaul, son dispositivos diseñados para ofrecer alta disponibilidad y capacidad de tráfico dentro de un segmento de red que por lo general interconecta el núcleo del sistema con otras subredes. Para el caso de este proyecto además de la alta capacidad de tráfico y disponibilidad se tuvieron en cuenta únicamente equipos diseñados para soportar rangos de distancia de enlaces superiores a 40 Km, ya que la distancia de la troncal Alpes Cerro Mono es de 44,2 Km; además de ofrecer capacidad de operar en zonas de alta interferencia o ruido.

Se realizaron consultas en la web de fabricantes de radios con disponibilidad en el mercado colombiano donde se identificaron cuatro compañías principales que son Ubiquiti Networks, Mimosa Networks, Cambium Networks y MikroTik; la empresa Globaltronik cuenta con varios proveedores registrados que distribuyen estas marcas, con esto se procedió a consultar radios de estos fabricantes que cumplieran con los requerimientos del sistema a diseñar mencionados anteriormente.

4.9.1. Ubiquiti Networks

La línea de radios para punto a punto backhaul de Ubiquiti Networks son los equipos de tecnología airFiber [28], conformada por 5 referencias como se observa en la Tabla 7, para

seleccionar los radios de este fabricante que pueden cumplir con los requerimientos mínimos para el sistema a diseñar en este proyecto se tuvieron en cuenta 3 especificaciones básicas, frecuencia de operación, rango o distancia de enlace y por último la capacidad de tráfico máxima.

Tabla 7 Radios Ubiquiti airFiber

REFERENCIA	AirFiber 5	airFiber 5XHD	airFiber 11	airFiber 24HD	airFiber 60LR
FRECUENCIA	5 GHz	5 GHz	11 GHz	24 GHz	60 GHz
DISTANCIA DE ENLACE	100+ Km	100+ Km	100+ Km	30+ Km	12+ Km
TRAFICO MAXIMO	1.4+ Gbps	1.3 Gbps	1.4+ Gbps	2 Gbps	1.8 Gbps

Como se puede ver en la comparación las 5 referencias de radios para backhaul de Ubiquiti cumplen en el apartado de capacidad de tráfico máximo pero solo los equipos de frecuencia de operación igual o menor a 11 GHz pueden soportar distancias de enlace superiores a los 40 Km, lo que reduce la cantidad de modelos de airFiber que cumplen con los requerimientos del diseño a solo 3, los dos modelos de airFiber 5 que operan en frecuencias de 5 GHz y el airFiber 11 que opera en frecuencias de 11 GHz.

Como se mencionó anteriormente además de la capacidad de tráfico máxima y la distancia o rango de operación de los radios se tuvo en cuenta que en los nodos de Alpes y Cerro Mono el rango de frecuencias de operación de los 5 GHz está demasiado contaminado ya que la mayoría

de equipos instalados en ambas torres operan en esta frecuencia, como evidencia de esto la Figura 11 muestra un capture del analizador de espectro integrado del radioenlace Mimoso B5C.



Figura 11. Analizador de espectro del radioenlace Mimoso B5c

El analizador de espectro de mimosa es capaz de integrar en una sola grafica las lecturas de los dos radios que conforman el enlace para informar sobre las fuentes de interferencia que pueden afectar el rendimiento del sistema. Los canales en uso tienen una densidad espectral de potencia (PSD) más alta en el eje vertical y están sombreados en diferentes colores para representar la frecuencia con la que es probable que las señales estén en la misma frecuencia y con la misma amplitud. La leyenda a la derecha del gráfico explica el código de color para la función de distribución acumulativa (CDF). El color rojo sugiere la probabilidad más alta (1 = 100%), mientras que el púrpura representa la probabilidad más baja (0 = 0%). [29].

Teniendo en cuenta el resultado del analizador de espectro y analizando los dos rangos de frecuencias en las que está operando el sistema actualmente se pudo determinar que no existe espacio para agregar un radioenlace más en la banda de los 5 GHz en la troncal sin que se vea afectado por el ruido de los otros radios ya instalados en las torres de Alpes y Cerro Mono, por esa razón se optó por seleccionar el airFiber 11 dentro de las referencias disponibles del fabricante Ubiquiti como opción para el diseño del nuevo sistema de radioenlace.

4.9.2. Mimoso Networks

Se continuó con la consulta de los equipos para backhaul de la marca Mimoso Networks, este fabricante cuenta con una línea de dispositivos a los que ellos llaman punto a punto de alta fiabilidad [30], conformada por los modelos B24, B11, B5 y B5c que ofrecen velocidades agregadas, es decir la sumatoria de carga y descarga, de hasta 1.5 Gbps, y en una sola dirección de hasta 1 Gbps. Como sus nombres lo indican, los modelos B5 y B5c operan en el rango de frecuencias de los 5 GHz, por esta razón se descartaron en primera instancia de la misma forma que sucedió con los airFiber 5, además el sistema de la troncal actual cuenta con un radioenlace B5c operativo. Este descarte dejó dos opciones únicamente, el B11 o el B24, pero al igual que sucedió con los equipos de la marca Ubiquiti y además es de esperarse que fuera igual para todos los fabricantes, los equipos que operan a frecuencias superiores a 11 GHz no son capaces de alcanzar distancias superiores al rango de los 40 Km, debido a que las frecuencias altas ofrecen mayor velocidad y capacidad de transmisión pero no tienen la capacidad de conservar su potencia a grandes distancias, por consiguiente a mayor frecuencia menor es la distancia de propagación y a menor frecuencia mayor es la distancia de propagación; por esta razón la referencia de radio Mimoso que cumple con las especificaciones necesarias para ser tenida en cuenta en el proceso de selección de equipos para el sistema de radioenlace a diseñar es el

Mimosa B11. La Tabla 8 muestra las características básicas del Radio Mimosa B11 tenidas en cuenta en el proceso de selección.

Tabla 8. Características básicas Mimosa B11

Mimosa B11		
FRECUENCIA	DISTANCIA DE ENLACE	TRAFICO MAXIMO
11 GHz	50+ Km	1.5 Gbps

4.9.3. Cambium Networks

El siguiente fabricante que se consultó y se le realizó el proceso de analizar los equipos para backhaul que tienen disponibles es Cambium Networks, la marca cuenta con una línea de dispositivos llamada Backhaul Sub 6 de alta capacidad [31], como puede entenderse por su nombre son radios que operan en frecuencias por debajo de los 6 GHz, las referencias son PTP 550E, PTP 670 y PTP 700. Las características de estos radios se pueden observar en la Tabla 9 a modo de comparación.

Tabla 9. Radios Cambium PTP

REFERENCIA	PTP 550E	PTP 670	PTP 700
FRECUENCIA	5 GHz	5 GHz	5 GHz o 7/8 GHz
DISTANCIA DE ENLACE	200Km	250Km	250Km
TRAFICO MAXIMO	1.4+ Gbps	450+ Mbps	1+ Gbps

Solo al observar el apartado de la frecuencia de operación se pudieron descartar todos los modelos de esta serie, pero al realizar un análisis más a detalle de las características propias del

fabricante y las especificaciones de los dispositivos se encontró que la referencia PTP 550E ofrece rendimiento en presencia de interferencias, además de tener valores altos en los apartados de tráfico máximo y distancia de enlace, que ponen al PTP 550E al mismo nivel de los equipos de 11 GHz de las marcas Ubiquiti y Mimososa, por esta razón se decidió tener en cuenta para el proceso de selección el radio Cambium PTP 550.

La referencia PTP 670 se descartó por su baja capacidad de tráfico máximo, ya que se queda corto para las exigencias del proyecto, por otra parte, los modelos PTP 700 son dispositivos de grado militar, orientado más al uso por parte de entidades gubernamentales que de compañías de telecomunicaciones y ofrecen valores de rendimiento similares al PTP 550E, pero con características más robustas en cuanto a seguridad y encriptación de los datos.

Por último, se consultó el fabricante MikroTik, donde se encontró que la marca no cuenta con una línea de equipos orientados a soluciones de punto a punto de alta capacidad, ya que su fuerte son los routers, switches de red y dispositivos de para la administración de redes cableadas.

4.10. Análisis de las ventajas y desventajas

Concluido el proceso de búsqueda de equipos disponibles en el mercado que cumplen con las características necesarias para el diseño del sistema, se obtuvieron tres referencias de tres marcas distintas como posibles soluciones para soportar el tráfico de la troncal Alpes Cerro Mono, en esta etapa del proyecto se realizó un trabajo de comparación de los tres equipos a partir del análisis de las ventajas y desventajas de cada uno con el objetivo de seleccionar el más idóneo para el cumplimiento de la meta de capacidad de tráfico a través de la troncal de 1.2 Gbps.

En primer lugar, se realizó un resumen de las características principales de cada uno de los radios, donde se tuvo en cuenta el rango de frecuencia de operación, el rendimiento de tráfico máximo, los tipos de modulación que soporta, los anchos de banda, la potencia máxima de salida, la distancia máxima del enlace, la ganancia de las antenas compatibles con los radios, y por último el modo de operación de duplexación. Esta información se organizó como se muestra en la Tabla 10 para el radio Ubiquiti airFiber 11, en la Tabla 11 para el radio Mimosa B11 y en la Tabla 12 para el radio Cambium PTP 550E.

Tabla 10. Especificaciones Ubiquiti airFiber 11

<i>Ubiquiti airFiber 11</i>	
Rango de frecuencia	10.7 - 11.7 GHz
Rendimiento máximo	1.2+ Gbps
Modulación	SISO/MIMO hasta 1024 QAM
Ancho de banda	3.5/5/7/10/14/20/28/30/40/50/56 MHz
Potencia máxima de salida	30 dBm
Distancia de enlace	300+ km
Ganancia de antena	35 dBi, antena AF-11G35
Modo de operación	TDD y FDD

Tabla 11. Especificaciones Mimosa B11

<i>Mimosa B11</i>	
Rango de frecuencia	10.0 - 11.7 GHz
Rendimiento máximo	1.5+ Gbps

Modulación	4x4:4 MIMO OFDM up to 256QAM
Ancho de banda	Single or Dual 20/40/80 MHz channels
Potencia máxima de salida	27 dBm
Distancia de enlace	100+ km
Ganancia de antena	41 dBi
Modo de operación	TDMA, TDMA-FD

Tabla 12. Especificaciones Cambium PTP 550E

<i>Cambium PTP 550E</i>	
Rango de frecuencia	4.9 – 6.2 GHz
Rendimiento máximo	1.4+ Gbps
Modulación	4X4 MIMO 256 QAM
Ancho de banda	Dual independent channels 10/20/40/80 MHz
Potencia máxima de salida	26 dBm
Distancia de enlace	200+ km
Ganancia de antena	34 dBi
Modo de operación	TDD

4.10.1. Ubiquiti airFiber 11

El primer radio en ser analizado fue el airFiber 11, en este proceso se realizó una descripción de cada una de las características por separado que fueron extraídas del datasheet del dispositivo [32]. El rango de frecuencia de operación de este radio está situado en la banda de los 11 GHz, inicia en 10.7 GHz y termina en 11.7 GHz, lo que le da un ancho total de 1 GHz, el ancho de este rango de operación se hace sumamente importante cuando existe presencia de ruido o

contaminación en los nodos por otros radios que operan en la misma banda de frecuencias de los 11 GHz, para el caso de la troncal Alpes Cerro Mono no existen actualmente instalados en los nodos radios de esta tecnología, por esta razón no se consideró como una desventaja para el airFiber 11 frente al Mimosa B11 contar con menor rango de operación.

En el apartado de rendimiento de tráfico máximo el datasheet no ofrece mucha información, aparte de prometer más de 1,2 Gbps de velocidad solo advierte que los valores de rendimiento pueden variar según las condiciones ambientales, por esta razón se recurrió a la experiencia que ha tenido la empresa con otros radios de la línea backhaul de Ubiquiti como lo son los airFiber 5X, estos radioenlaces se caracterizan por ofrecer valores muy bajos de latencia pero el rendimiento de tráfico máximo no es su fuerte ya que se ven muy afectados por la distancia del enlace, dado que la distancia de la troncal es de más de 40 Km, la baja latencia del airFiber 11 puede considerarse una ventaja y el poco rendimiento de tráfico máximo una clara desventaja .

En cuanto a la modulación el airFiber 11 ofrece SISO o MIMO 2x2 hasta 1024 QAM pero con un ancho de banda máximo de 56 MHz, lo que le permite alcanzar al radio en una sola dirección la velocidad máxima de 687.9 Mbps, esto permite comprobar que la velocidad prometida de más de 1.2 Gbps en las especificaciones básicas del equipo hace referencia la velocidad máxima sumadas ambas direcciones de transmisión, la carga y la descarga, por esta razón la instalación de un solo radioenlace airFiber 11 como solución para el diseño de la nueva troncal se queda corta en capacidad de tráfico máximo, lo que obliga a la instalación de un segundo radioenlace de la misma o de distinta referencia, esto lo pone en evidente desventaja

frente al Mimosa y el Cambium que cuentan con anchos de banda máximos de 80 MHz, lo que les permite alcanzar mucha más velocidad en una sola dirección de transmisión.

La potencia máxima de salida de 30 dBm le permite tener al radio una mayor distancia máxima de enlace y estabilidad de la señal frente a condiciones ambientales, en este apartado el airFiber 11 toma ventaja frente a sus competidores, sumado a esto la antena compatible con esta referencia es diseñada por el mismo fabricante con el objetivo de aprovechar al máximo esa potencia de transmisión.

Por último, se analizó el modo de operación, donde Ubiquiti ofrece duplexación por división de tiempo o TDD y duplexación por división de frecuencia FDD lo que le permite soportar las modulaciones SISO y MIMO respectivamente. La duplexación por división de frecuencia le permite al airFiber 11 soportar la transmisión MIMO con dos canales de emisión y dos canales de recepción, lo que le otorga al enlace la capacidad de recibir y transmitir al mismo tiempo por dos canales distintos. Esta característica también le aporta al radio la capacidad de reducir al mínimo el tiempo de latencia, apartado en el cual el datasheet promete que es menor a 200 μ s cuando el radioenlace está operando en full dúplex. A modo de resumen la tabla 13 muestra las ventajas y desventajas del radio Ubiquiti airFiber 11.

Tabla 13. Ventajas y desventajas airFiber 11

<i>Ubiquiti airFiber 11</i>	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Bajo tiempo de latencia (<200 μ s)	Bajo rendimiento de tráfico máximo en una sola dirección (687.9 Mbps)
Potencia máxima de salida (30 dBm)	Poco ancho de banda máximo (56 MHz)

4.10.2. Mimosa B11

Se realizó el análisis de las características del radio B11 expuestas en el datasheet del equipo [33], el ancho del rango de frecuencia de operación del Mimosa es la primera clara ventaja que se evidencia en este radio por sobre las opciones de Ubiquiti y de Cambium, ya que cuenta con un espacio de 1.7 GHz de frecuencias utilizables comparado con el 1 GHz y el 1.3 GHz del airFiber y del PTP 550E respectivamente.

Al ser analizado el apartado del rendimiento de tráfico máximo también se observa que el B11 es el radio de mayor capacidad con más de 1.5 Gbps, que está por encima de los 1.2+ Gbps en tráfico agregado del airFiber y de los 1.4+ Gbps del Cambium, el datasheet aclara que el valor de 1.5+ Gbps es la velocidad de tráfico agregada, es decir, la sumatoria de la velocidad de carga y de la velocidad de descarga, pero además de eso, como se analizó anteriormente la tecnología de los radios Mimosa les permite tener velocidades asimétricas de carga y de descarga, lo que le otorga la capacidad de priorizar el tráfico en una de las direcciones, si se tiene en cuenta que el datasheet registra un rendimiento máximo en la capa PHY de 1.7 Gbps se calcula el rendimiento de tráfico MAC máximo en una sola dirección como se muestra a continuación:

$$\text{MAC Throughput (Gbps)} = \text{PHY rate} * \text{MAC Duty Cycle} * \text{MAC Efficiency}$$

$$\text{MAC Throughput (Gbps)} = 1.7 * 75\% * 90\% = 1.1475$$

Donde:

PHY rate = rendimiento máximo de la capa PHY

MAC duty cycle = ventana de transmisión que le otorga el 75% de prioridad máxima a una sola dirección.

MAC Efficiency = rendimiento máximo de la capa PHY en función del tiempo de la ventana de transmisión TDMA

Con lo anterior se evidenció que la velocidad de rendimiento de tráfico máximo en una sola dirección del radio Mimosa B11 es de 1.1475 Gbps, lo que lo pone muy cerca de la meta de 1.2 Gbps para el diseño del sistema.

La modulación que utiliza el radio B11 es MIMO 4x4, soportada por OFDM, modulación por división de frecuencias ortogonales, lo que le permite al enlace tener 4 canales en el receptor y 4 canales en el transmisor, de los cuales cada radio utiliza dos canales para recepción y dos canales para emisión, cada uno de estos canales soporta una modulación máxima de 256 QAM, todo esto le otorga ventaja al radio Mimosa sobre su similar de Ubiquiti en el apartado de la modulación pero estando a la par con el Cambium.

En cuanto al ancho de banda el B11 también resultó ser superior al airFiber ya que soporta un máximo de 80 MHz al igual que el cambium por encima de los 56 MHz máximos del Ubiquiti.

La potencia de salida máxima del B11 es de 27 dBm, lo que lo pone por debajo del airFiber que cuenta con 30 dBm, pero para el caso del radio Mimosa este valor es compensado ya que soporta antenas con ganancias de hasta 41 dBi que le permiten alcanzar distancias de enlace mayores a 100 Km.

La desventaja que se pudo analizar para este radio es que los protocolos TDMA, acceso múltiple por división de tiempo, que le permiten priorizar el tráfico en una de las direcciones de transmisión generan aumento en el tiempo de latencia en la comunicación, por esta razón el Mimosa B11 promete tiempos mínimos de latencia menores a 1 ms, que puede parecer bajo, pero comparados con los 200 μ s del airFiber se convierten en una desventaja.

La Tabla 14 muestra en resumen las ventajas y desventajas del radio Mimosa B11

Tabla 14. Ventajas y desventajas Mimosa B11

<i>Mimosa B11</i>	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Ancho del rango de frecuencia de operación (1.7 GHz)	Latencia mínima <1 ms
Rendimiento de tráfico MAC máximo en una sola dirección (1.1475 Gbps)	
Modulación MIMO 4x4	

4.10.3. Cambium PTP 550E

Para el análisis del PTP 550E se tuvo en cuenta en primer lugar que este radio presenta la desventaja principal de operar en el rango de frecuencias de los 5 GHz, espacio del espectro que esta sobreexplotado en los nodos de Alpes y Cerro Mono, por otra parte, este radio cuenta con un ancho de rango de frecuencia de operación extendido que va desde los 4.9 GHz hasta los 6.2 GHZ, lo que lo pone en ventaja sobre otros radios similares, con un ancho total de frecuencia de operación de 1.3 GHz.

La razón por la cual fue tenido en cuenta este radio es porque cuenta con Selección dinámica de canales (DCS), Dynamic Channel Selection, el PTP 550E optimiza constantemente el canal de operación para maximizar la confiabilidad y el rendimiento del enlace. Respondiendo al entorno de interferencia de radio, PTP 550E buscará el espectro más claro y se moverá a él sin problemas. Además, cada canal puede tener un ancho de banda de canal independiente que

proporciona flexibilidad en la selección de canales, selección de banda y requisitos de rendimiento para cada dirección de transmisión [34].

El rendimiento máximo del radio en velocidad de tráfico agregada es de 1.4 Gbps, pero soporta mediante la multiplexación por división de tiempo otorgar ciclos de trabajo asimétricos máximos de 75:25, esto le permite alcanzar en teoría la velocidad máxima de transmisión en una sola dirección de 1.05 Gbps, esto lo pone cerca, pero por debajo del B11.

En el apartado de la modulación el sistema utilizado es idéntico al de Mimosa, MIMO 4x4, al igual que en los anchos de canales seleccionables, pero con la ventaja de poder seleccionar valores de ancho de canal diferentes para la transmisión y para la recepción, lo que le otorga al PTP 550E mayor flexibilidad a la hora de ajustarse a las condiciones de contaminación del espectro de operación.

La potencia de salida es la más baja de las 3 opciones que se propusieron como solución para el sistema de radioenlace, ya que cuenta con 26 dBm de potencia máxima y soporta antenas con una ganancia máxima de 34 dBi. En el apartado de latencia mínima también es el radio que ofrece mayor tiempo con 3 ms. La tabla 15 muestra el resumen de las ventajas y desventajas del Cambium PTP 550E.

Tabla 15. Ventajas y desventajas PTP 550E

<i>Cambium PTP 550E</i>	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Selección dinámica de canales (DCS)	Frecuencia de operación 5 GHz
Anchos de canal independientes para carga y descarga	Latencia 3 ms

4.11. Selección de los equipos

Teniendo en cuenta el análisis de ventajas y desventajas de los radios Ubiquiti, Mimosa y Cambium se procedió a seleccionar el equipo idóneo para las exigencias de capacidad y estabilidad que se requieren para el diseño del radioenlace, dicho equipo es el Mimosa B11, que sobresale por su rendimiento de tráfico máximo, baja latencia y la estabilidad que ofrece su frecuencia de operación ya que no existen actualmente instalados en las torres de Alpes y de Cerro Mono otros equipos con el mismo rango de frecuencia de operación de 11 GHz.

Debido a que el tráfico máximo que soporta el B11 en condiciones ideales de operación en una sola dirección es en teoría de 1.15 Gbps, valor que está cerca pero por debajo del requerimiento mínimo de 1.2 Gbps para el diseño, se optó por conservar uno de los radios que conforman actualmente la troncal con el objetivo de superar el valor mínimo de tráfico máximo requerido y tener un margen de error que permita alcanzar ese valor de rendimiento aun en condiciones adversas de operación, como factores climáticos y ambientales que puedan afectar el funcionamiento de los equipos.

Se decidió conservar el Mimosa B5c ya que es el más robusto y el que ofrece mayor capacidad de rendimiento de tráfico máximo, y retirar el airFiber 5X y el Mimosa C5c, el proceso de retirar estos dos radioenlaces permitirá liberar en el espectro de frecuencias de los 5 GHz los rangos de frecuencias en los que están operando actualmente estos equipos, con lo que se podrá mejorar el rendimiento actual del B5. Para calcular el valor de la capacidad de tráfico máximo que soportara la nueva troncal se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en la simulación de cada uno de los radioenlaces en el software Mimosa designtool.

4.12. Logística para el montaje del radioenlace Mimosa B11

Los primeros factores que se tuvieron en cuenta para la logística de instalación de los radios mimoso B11 fueron el peso y el tamaño del equipo una vez ensamblado con la antena de 41 dBi, solo el radio tiene un peso de 2 Kg, a esto se le agrega el peso de la antena Jirous JRMA0-1200-10/11 de 16,5 Kg, para un total de 18,5 Kg del equipo completo [35].

El diámetro de la antena es de 1228 mm o 1.228 m, con una profundidad de 615 mm teniendo en cuenta los herrajes para sujetar la antena a la torre. Es necesario tener muy claras las dimensiones y peso del equipo ya que el montaje implica trabajo en alturas superior a 40 metros para la torre de Cerro Mono y de 15 metros para la torre de Alpes.

4.12.1. Logística en torre Alpes

CONSIDERACIONES:

El nodo de Alpes cuenta con una torre de viento o atirantada de 24 metros de altura, de base triangular de 0.55 metros de lado, en la cual se encuentran instalados actualmente 17 radios, debido a las características físicas de la estructura y a las condiciones climáticas del sitio, por estar ubicado en la cima de un cerro, se presentan fuertes vientos capaces de hacer oscilar la torre, por estas razones se recomienda ubicar el B11 a una altura no superior a 15 metros, debido a que el plato de la antena de 1,2 metros de diámetro ofrece resistencia al viento, lo que provocara mayor movimiento en la estructura, ya que el momento de fuerza de la presión del viento que golpea la antena contra la estructura es directamente proporcional a la altura en la cual se ubique el dispositivo.

PERSONAL TECNICO:

Teniendo en cuenta las condiciones de instalación en el nodo Alpes se recomienda disponer de una cuadrilla de 4 técnicos como mínimo para el montaje del B11, dos de ellos en la torre con el equipamiento necesario para el trabajo seguro en alturas y los otros dos en tierra para subir el

radio mediante el uso de una polea, con el objetivo de tener el mayor control posible sobre el movimiento del radio debido al viento.

MATERIALES Y EQUIPOS

Además del equipo Mimosa B11 y la antena se requieren los siguientes materiales para la instalación.

Equipos y materiales necesarios:

- 2 poleas
- 2 sogas o lazos de 50 metros
- Equipos para trabajo seguro en alturas para 3 personas
- 30 metros Cable utp categoría 6 para exteriores
- Mínimo 2 conectores rj45 categoría 6
- Herramientas para trabajo en torre (llaves de expansión, pinzas, destornilladores, multímetro, cinta aislante, cortafrío)

RECOMENDACIONES:

Debido a que el radio AP va estar ubicado en la torre de Alpes se recomienda realizar la instalación primero en ese nodo, además de ser el sitio más cercano y ubicado dentro de la zona urbana de la ciudad de Cúcuta.

El proceso de apuntamiento del radio se simplifica debido a que ya existen tres radios instalados en la torre actualmente que se pueden utilizar como referencia para direccionar la nueva antena hacia Cerro Mono.

4.12.3. Logística en torre Cerro Mono

CONSIDERACIONES:

El nodo de Cerro Mono cuenta con una torre auto soportada de 60 metros de altura, esta estructura no se ve afectada por la fuerza del viento como si sucede en Alpes, las condiciones adversas que presenta son propias de su ubicación, ya que se encuentra en una zona montañosa y selvática en el área del Catatumbo, actualmente no hay manera de llegar en vehículo hasta la torre, para acceder al lugar se debe tomar un camino transitable solo a pie para ascender a la cima del cerro donde está la torre, este camino tiene una longitud aproximada de 600 metros, pero se dificulta ya que la diferencia de altitud entre el punto de partida y la llegada es de aproximadamente 60 metros, lo que le da al sendero una pendiente promedio de 10%.

Además de las condiciones de la vía y del terreno se deben tener en cuenta otros factores como la alta temperatura y humedad del lugar, propias de la zona selvática, y la presencia de insectos como mosquitos y abejas.

PERSONAL TECNICO:

Teniendo en cuenta lo anterior se recomienda que la labor sea realizada por una cuadrilla de por lo menos 5 técnicos, se requieren tres técnicos en tierra y dos en torre para subir mediante polea el radio B11 ensamblado con la antena hasta su ubicación a 45 metros de altura.

MATERIALES Y EQUIPOS

Además del equipo Mimosa B11 y la antena se requieren los siguientes materiales para la instalación.

Equipos y materiales necesarios:

- 2 poleas
- 2 sogas o lazos de 100 metros
- Equipos para trabajo seguro en alturas para 4 personas
- 80 metros Cable utp categoría 6 para exteriores

- Mínimo 2 conectores rj45 categoría 6
- Herramientas para trabajo en torre (llaves de expansión, pinzas, destornilladores, multímetro, cinta aislante, cortafrío, etc.)

RECOMENDACIONES:

Se recomienda realizar una visita 3 días antes a la torre para verificar que no haya presencia de colmenas de abejas en la estructura ni en los gabinetes, de ser así se debe primero retirar estos animales con ayuda del cuerpo de bomberos.

El vehículo de transporte a utilizarse para llegar a la torre debe ser de tipo 4x4 ya que la vía de acceso al sitio es destapada y se ve muy afectada por la lluvia.

Se recomienda que los técnicos lleven provisiones de alimentos y agua suficiente para hidratarse durante un todo un día, debido a que se trata de una zona aislada en donde se pueden presentar inconvenientes que dilaten el tiempo estimado para finalizar las labores.

Una vez realizado el proceso de montaje del radio se debe tener un técnico en la torre de Alpes para realizar la alineación de los dos radios en simultanea con el objetivo de alcanzar la mayor intensidad de señal posible en el radioenlace.

4.13. Simulación del diseño

El fabricante Mimosa cuenta con una herramienta de diseño de radioenlaces online propia llamada Mimosa Design. Esta es una herramienta gratuita, para acceder solo hace falta registrarse con un correo electrónico en el sitio web de la compañía [36].

Los datos requeridos por el software para realizar la simulación son las coordenadas de cada nodo, la altura de ubicación de los radios y el modelo de los equipos a utilizar.

Coordenada nodo Alpes: 7.896883, -72.517311

Coordenada nodo Cerro Mono: 8.293170, -72.544449

Altura B11 en Alpes: 12 metros

Altura B11 en Cerro Mono: 45 metros

Altura B5c en Alpes: 15 metros

Altura B5c en Cerro Mono: 50 metros

Para la simulación del radioenlace B11 se introducen los datos correspondientes en el Mimoso Design como muestra la figura 12 en la sección Add Link.

Link Name	Height (m)
TORRE ALPES	12
CERRO MONO	45

Radio

B11 - ROW

To aid in FCC Licensed Link pre-coordination, set channel settings to filter out non-impacting 3rd party FCC Licensed Links.

Lower Band frequency (MHz)	Upper Band frequency (MHz)
10115	11315

Channel Width (MHz)	Antenna Type
2x80	Jirous-1200 41 dBi

Figura 12. Add Link Mimoso Design

Adicionalmente a los datos mencionados anteriormente, el software permite seleccionar el ancho de banda de operación y el tipo de antena que utiliza el equipo, de la misma manera permite modificar la frecuencia dentro del rango de operación del dispositivo.

El software muestra las ubicaciones de los nodos en un mapa satelital como muestra la figura 13.

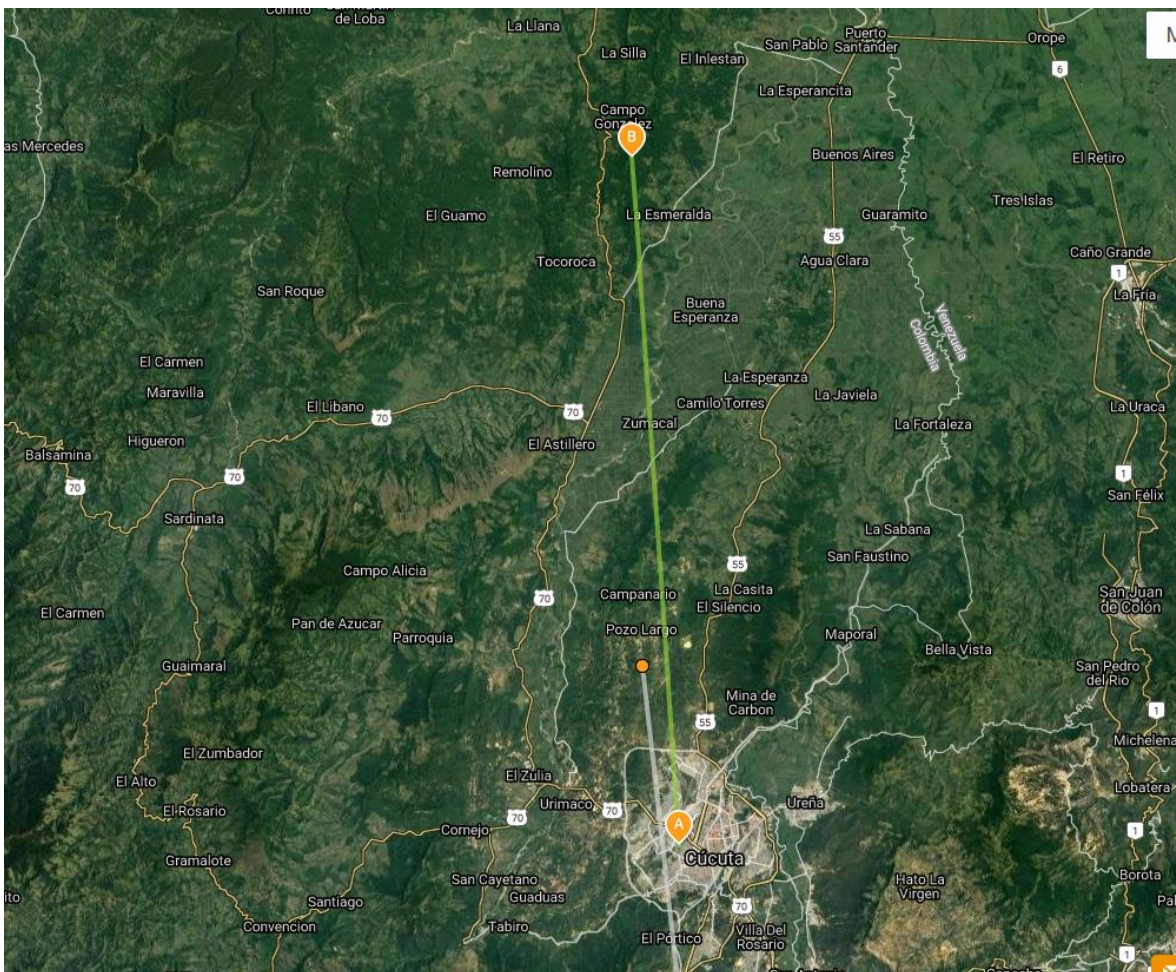


Figura 13. Mapa de enlace

La figura 14 muestra un resumen del resultado de la simulación del enlace. Para este enlace el resultado mostró en primer lugar que existe línea de vista entre ambos puntos, 0% de pérdida por zona Fresnel, es decir no existen obstáculos dentro de la zona Fresnel del enlace, 99% de fiabilidad de lluvia, 44.2 Km de distancia del enlace, 31.77 dB de relación señal a ruido en condiciones de lluvia y de 40.81 dB en clima despejado. El rendimiento potencial de la capa PHY de 1733 Mbps y rendimiento de IP agregado de 1387 Mbps.

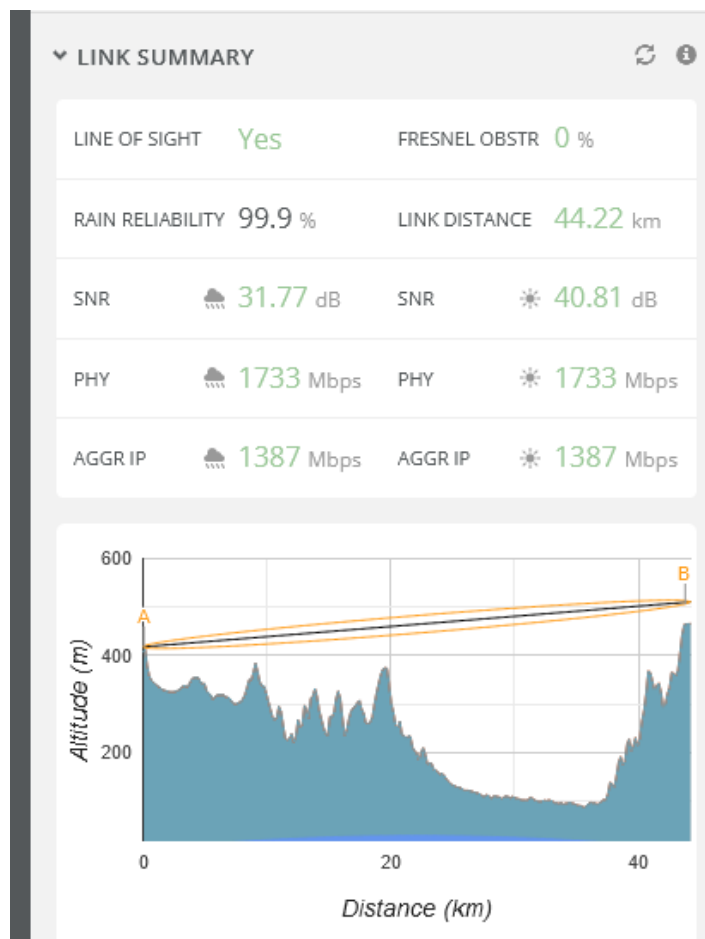


Figura 14. Link Summary, condiciones climáticas normales.

En la parte inferior del resultado el Software muestra una gráfica de la altitud del terreno entre ambos puntos del enlace y la zona Fresnel generada, donde se puede observar que existe línea de vista entre ambos puntos sin obstrucción.

El software permite simular condiciones climáticas de lluvia, temperatura, presión atmosférica y humedad, con estos valores modificados como se muestran en la figura 15 se obtuvieron los resultados de rendimiento que muestra la figura 16.

Expected values have been loaded based on your location. Adjust the sliders to test theoretical values.

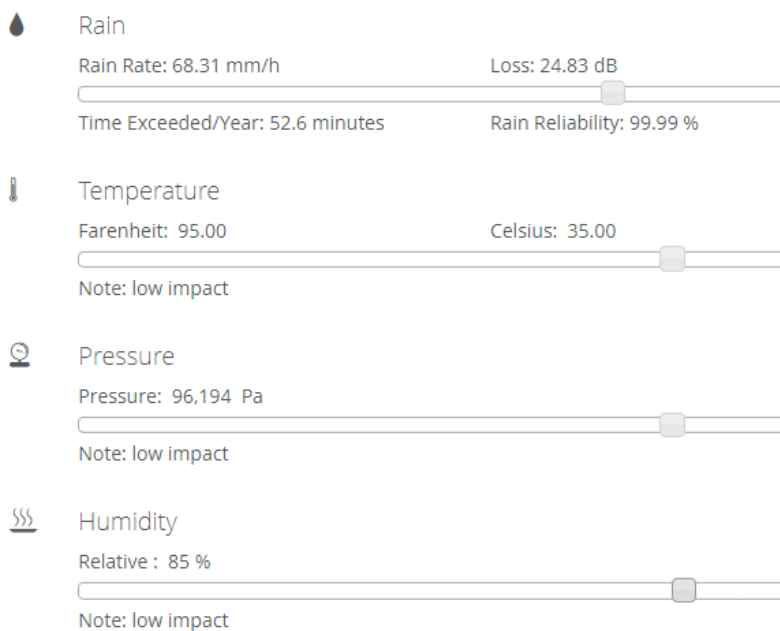


Figura 15. Simulación de condiciones climáticas.

LINK SUMMARY			
LINE OF SIGHT	Yes	FRESNEL OBSTR	0 %
RAIN RELIABILITY	99.99 %	LINK DISTANCE	44.22 km
SNR	☁️ 14.87 dB	SNR	☀️ 39.70 dB
PHY	☁️ 780 Mbps	PHY	☀️ 1733 Mbps
AGGR IP	☁️ 624 Mbps	AGGR IP	☀️ 1387 Mbps

Figura 16. Link Summary, condiciones climáticas adversas.

Se observó que el rendimiento de tráfico máximo en estas condiciones se reduce a menos de la mitad del rendimiento en las condiciones climatológicas ideales. Se seleccionó el valor

máximo de promedio de lluvias para la simulación y se obtuvo que el rendimiento de tráfico máximo se reduce a cero, es decir los radios se desenlazan, como se muestra en la figura 17.

SNR	☁ 4.84 dB	SNR	☀ 40.66 dB
PHY	☁ 0 Mbps	PHY	☀ 1733 Mbps
AGGR IP	☁ 0 Mbps	AGGR IP	☀ 1387 Mbps

Figura 17. Condiciones climáticas extremas

Con estos resultados se comprobó que eventualmente el radioenlace Mimosa B11 puede fallar por completo cuando las condiciones climáticas son totalmente adversas, esto resaltó lo importante que resulta tener un radioenlace de respaldo con una frecuencia de operación menor que no se vea afectado hasta el punto de desenlazarse por completo. La figura 18 muestra los resultados obtenidos en la simulación del radioenlace B5c, donde se observó que en condiciones extremas de lluvia y temperatura el rendimiento del enlace se reduce un máximo de 25%, con esto se puede constatar que los radios que operan en el rango de frecuencias de los 5% GHz son más resistentes a las condiciones climáticas.

The screenshot displays a configuration interface for a network simulation. It includes sections for Tower selection, Radio selection, and a Link Summary table.

Tower Configuration:

Tower Name	Height (m)
TORRE ALPES	12
CERRO MONO	45

Radio Configuration:

B5c - Antenna 32 dBi

Buttons: Installation Report, Link Settings

LINK SUMMARY:

Parameter	Value	Parameter	Value
LINE OF SIGHT	Yes	FRESNEL OBSTR	0 %
RAIN RELIABILITY	99.999 %	LINK DISTANCE	44.22 km
SNR (Left)	24.98 dB	SNR (Right)	31.48 dB
PHY (Left)	1300 Mbps	PHY (Right)	1733 Mbps
AGGR IP (Left)	1040 Mbps	AGGR IP (Right)	1387 Mbps

Figura 18. Simulación Mimosa B5c

En la tabla 16 se organizaron los resultados de rendimiento de tráfico máximo obtenidos en la simulación de los dos radioenlaces, esto con el objetivo de obtener los valores de rendimiento de tráfico máximo de la troncal en condiciones ideales y los valores mínimos en condiciones climáticas adversas.

Tabla 16. Comparación de rendimiento de tráfico máximo

Rendimiento de tráfico máximo en capa PHY (Mbps)	Condiciones climáticas ideales	Condiciones climáticas adversas
Mimosa B11	1378	0
Mimosa B5c	1378	1040
Troncal	2756	1040

Con estos resultados se calculó el rendimiento de tráfico máximo en la capa MAC de la troncal en condiciones climáticas ideales en un solo sentido de transmisión como sigue:

$$\text{MAX MAC Throughput (Mbps)} = \text{PHY rate} * \text{MAC Duty Cycle} * \text{MAC Efficiency}$$

$$\text{MAX MAC Throughput (Mbps)} = 2756 * 75\% * 90\% = 1860$$

De la misma manera se calculó el rendimiento de tráfico mínimo en la capa MAC de la troncal en condiciones climáticas adversas en un solo sentido de transmisión como sigue:

$$\text{MIN MAC Throughput (Mbps)} = \text{PHY rate} * \text{MAC Duty Cycle} * \text{MAC Efficiency}$$

$$\text{MIN MAC Throughput (Mbps)} = 1040 * 75\% * 90\% = 702$$

Conclusiones

El sistema de radioenlace actual de la troncal Alpes-Cerro Mono es demasiado inestable para garantizar la operación adecuada de las subredes que dependen de este backhaul, su función como red de retorno debe proporcionar al sistema una conexión de alta confiabilidad y disponibilidad que permita soportar las exigencias en cuanto a capacidad de tráfico máximo de las zonas y servicios que dependen de la misma.

La causa más notoria de la baja capacidad de tráfico que presenta la troncal actual es la alta densidad de equipos que operan en el rango de frecuencias de los 5 GHz presentes en los nodos, el hecho de agregar más radios a la troncal que operan en esa misma frecuencia ha sido contraproducente, disminuyendo la capacidad del canal y aumentando la frecuencia de las fallas del sistema.

El objetivo principal de un radioenlace backhaul es soportar el volumen de tráfico de las subredes que dependen de él, por esta razón en el proceso de selección de los equipos para el nuevo sistema de radioenlace se le dio más importancia a la capacidad de tráfico máximo de los dispositivos analizados, en este apartado los radios Mimosa destacan por encima de las otras marcas como Ubiquiti y Cambium.

Con la simulación del diseño en el software Mimosa Design se obtuvo que en teoría y bajo condiciones ideales de operación los radios B5c y B11 proporcionan el mismo valor en rendimiento de tráfico máximo, si se logra liberar espacio en el espectro de frecuencias de los 5 GHz en la troncal se aumentaría la capacidad de tráfico del actual enlace B5c, hasta el punto de

superar en conjunto con el B11 por más del 50% el valor que se fijó como mínimo para el diseño del nuevo sistema de radioenlace.

Después de la capacidad de tráfico máximo, el segundo factor de mayor importancia que se tuvo en cuenta para el diseño del sistema fue la disponibilidad del enlace, en este apartado sobresale la importancia de conservar el B5c, garantizando de esta manera que aun en condiciones climáticas extremas se pueda mantener la comunicación entre los nodos.

Recomendaciones

Para el proceso de instalación y puesta en funcionamiento del nuevo sistema de radioenlace se recomienda perseguir la obtención de un rendimiento real de tráfico en la capa PHY superior al 80% del obtenido en el resultado de las simulaciones, con el objetivo de no reducir demasiado el rendimiento de tráfico máximo de la troncal y al final obtener una implementación que cumpla con las exigencias del diseño.

Dada la gran cantidad de radios instalados en el nodo de Alpes y de lo importante que es el mismo para la infraestructura de la red de la empresa, se recomienda adelantar un proyecto con el objetivo de remplazar la estructura de la torre actual por una mucho más robusta y capaz de resistir las condiciones climáticas, en especial los fuertes vientos que se presentan en su ubicación.

Una vez ampliado el canal de transmisión de la troncal Alpes Cerro Mono puede ocurrir que otros enlaces anteriores o posteriores en jerarquía dentro de la red se saturen, trasladándose cuello de botella actual hacia otros nodos, por esta razón se recomienda realizar un análisis en la red para identificar las troncales a intervenir a futuro.

Para los procesos de ampliación de capacidad en la red a futuro se recomienda el uso de radios con frecuencias de operación distintas a los 5 GHz y la utilización de otras tecnologías cuando sea posible como los medios de transmisión guiados, en especial la tecnología de fibra óptica FTTH.

Referencias

- [1] R. d. C. Ministerio de las TIC, «Ley 2108 de 201,» 2021. [En línea]. Available: <https://mintic.gov.co/portal/inicio/Normatividad/>. [Último acceso: 29 11 2021].
- [2] Janet Abbate, «OpenMind BBVA,» 2009. [En línea]. Available: <https://www.bbvaopenmind.com/articulos/internet-su-evolucion-y-sus-desafios/>. [Último acceso: 15 03 2021].
- [3] C. German, «Diseño de un sistema de radioenlace para comunicaciones enel ambito industrial,» 2019. [En línea]. Available: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/81906/6/ggonzalezmeneTFG0618memoria.pdf>.
- [4] Globaltronik, 2020. [En línea]. Available: <https://globaltronik.co/>.
- [5] «Syscom Colombia,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.syscomcolombia.com/producto/LTU-LR-UBIQUITI-NETWORKS-187930.html>. [Último acceso: 15 04 2021].
- [6] «Syscom Colombia,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.syscomcolombia.com/producto/B5C-MIMOSA-NETWORKS-72642.html>. [Último acceso: 29 01 2021].

- [7] «Syscom Colombia,» 2020. [En línea]. Available: Para el radio C5C el rango de operación de frecuencia es de (4900-6400 MHz), con ancho de canal ajustable de (20/40/80 MHz), potencia de salida máxima de 27 dBm, ganancia de antena máxima de 36 dBi, con una velocidad máxima de transmisión de 700 Mbps a un. [Último acceso: 05 2021].
- [8] C. d. r. d. C. R. d. Colombia, «Reporte del tráfico de Internet durante la Emergencia Sanitaria declarada por el Ministerio de Salud y Protección Social,» Junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.crcom.gov.co/es/noticia/reporte-del-tr-fico-de-internet-durante-la-emergencia-sanitaria-declarada-por-el-ministerio-de-salud-y-protecci-n-social>. [Último acceso: 13 Febrero 2021].
- [9] C. d. R. d. C. s, «Información n° 31 de TRÁFICO DIARIO reportada por los Proveedores de Servicio de Interne,» Colombia, 2020.
- [10] V. Z. Adrian, « Diseño de un sistema inalámbrico para integrar los servicios de telecomunicaciones, en las sedes que tiene en El Cauca la IPS-I ACIN. “Un aporte a la salud intercultural”,» *Red UAO Home Universidad Autónoma de Occidente.*, 2013.
- [11] Novoa B. Luis , Carreño O. Alvaro, «Diseño de radio-enlace de comunicaciones desde el municipio de el Cocuy a las instituciones educativas rurales la Playa, Tobalito, el Cardon, Carrizalito e Isleta,» *Universidad Piloto de Colombia*, 2018.

- [12] Grecia Melissa Dionicio Antunez, Erika Milagros Cumapa Roque, Percy David Vicente Leiva, «Diseño de un sistema de radioenlaces en la banda de 400MHz para el monitoreo y control de estaciones de SEDAPAL en el esquema Cieneguilla.,» 2018.
- [13] Benites Veliz, José Luis, Sánchez Murillo, Holger Fabricio, «“Estudio de factibilidad técnica e implementación de radioenlace backup con servicios Qos y políticas de seguridad para la empresa asevig-liderman cía. Lta,» 2018.
- [14] Cando Garzón, David Patricio, Masapanta Pilatasig, Juan Carlos, «Diseño e Implementación de un radioenlace con tecnología IP entre las Repetidoras Comando Conjunto De Las Fuerzas Armadas (Comaco) - Cayambe para brindar los servicios de datos y VoIP.,» 2016.
- [15] R. Pedro, «Radio Comunicaciones Radio & Engineering Company SL,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.radiocomunicaciones.net/radio/radio-enlace-que-es-un-radioenlace/>. [Último acceso: 04 20 2021].
- [16] G. g. Menendez, «Transparencia de radioenlaces,» [En línea]. Available: <http://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/29/29682/transparenciasderadioenlaces.pdf>. [Último acceso: 03 15 2021].
- [17] M. J. Luis, «La absorción en las ondas y radioenlaces,» Pro Red, 2018. [En línea]. Available: <https://www.prored.es/la-absorcion-en-las-ondas-y-radioenlaces/>. [Último acceso: 27 04 2021].

- [18] M. J. Luis, «Zonas de Fresnel en un radioenlace,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.prored.es/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/>. [Último acceso: 17 04 2021].
- [19] C. d. Colombia, «Ley 1341 de 2009,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=36913#:~:text=ART%C3%8DCULO%202%C2%B0.&text=Las%20Tecnolog%C3%ADas%20de%20la%20Informaci%C3%B3n%20y%20las%20Comunicaciones%20deben%20servir,los%20habitantes%20del%20territorio%20nacional..>
- [20] Arias P. Germán, Bacca M. Germán, Wilches D. Juan, «Codigo de buenas practicas para el despliegue de redes de comunicaciones,» 2016. [En línea]. Available: https://www.crcom.gov.co/recursos_user/2016/Informes/Codigo_Buenas_Practicas_2016.pdf. [Último acceso: 13 02 2021].
- [21] C. d. Colombia, «Ley 72 de 1989,» [En línea]. Available: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=10003#:~:text=ART%C3%8DCULO%204%C2%BA.,son%20propiedad%20exclusiva%20del%20Estado..>
- [22] Ubiquiti Inc, «Datasheet airFiber X,» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/airfiber/airFiber_X_DS.pdf. [Último acceso: 19 11 2021].

- [23] Mimosa Networks by Airspan, «Datashette No Client Too Far C5c Point-to-Point Backhaul & Point-to-Multipoint Client Radio,» [En línea]. Available: https://mimosa.co/uploads/datasheets/Mimosa-by-Airspan-C5c-Datasheet_DS-0004-09b.pdf. [Último acceso: 19 11 2021].
- [24] Mimosa Networks by Airspan, «Datashet Extreme Customization and Reliability B5c Point-to-Point Backhaul Radio,» [En línea]. Available: https://mimosa.co/uploads/datasheets/Mimosa-by-Airspan-B5c-Datasheet_DS-0008-09.pdf. [Último acceso: 19 11 2021].
- [25] Ubiquiti Inc, «Datashet RocketDish airMAX 2x2 PtP Bridge Dish Antenna,» [En línea]. Available: https://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish/rd_ds_web.pdf. [Último acceso: 19 11 2021].
- [26] Mimosa Networks by Airspan, [En línea]. Available: <http://backhaul.help.mimosa.co/backhaul-ug-signal-meter-b24>. [Último acceso: 19 11 2021].
- [27] Mimosa, [En línea]. Available: <https://gzhls.at/blob/ldb/5/d/2/6/d65e57ce9082435072de728b27be564c5b9b.pdf>. [Último acceso: 19 11 2021].
- [28] Ubiquiti Inc, «ui.com,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.ui.com/uisp/ptp-bridging>.

- [29] Mimosa by Airspan, «Mimosa Networks,» 2021. [En línea]. Available: <http://backhaul.help.mimosa.co/backhaul-ug-spectrum-analyzer>.
- [30] Mimosa Networks, «Mimosa PTP,» 2021. [En línea]. Available: <https://mimosa.co/products/ptp/high-reliability>.
- [31] Cambium Networks, «Cambium backhaul,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.cambiumnetworks.com/products/backhaul/>.
- [32] Ubiquiti, «Datashet airFiber 11,» 2020. [En línea]. Available: https://dl.ui.com/ds/af-11_ds.
- [33] Mimosa B11, «Datasheet Mimosa B11,» 2021. [En línea]. Available: https://mimosa.co/uploads/datasheets/Mimosa-by-Airspan-B11-Datasheet_DS-0007-04.pdf.
- [34] Cambium PTP 550E, «datasheet PTP550E,» 2021. [En línea]. Available: https://www.cambiumnetworks.com/wp-content/uploads/2020/04/PTP_550E_Spec_sheet-1.pdf.
- [35] JIROUS ANTENAS, «Antena parabólica JRMB-1200-10/11,» [En línea]. Available: <https://es.jirous.com/antennas-10ghz/jrmb-1200-10-11>. [Último acceso: 20 11 2021].
- [36] Mimosa, «Mimosa Design tool,» [En línea]. Available: <https://mimosa.co/design-tool>. [Último acceso: 20 11 2021].

