



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA OPTIMIZACIÓN
DEL RENDIMIENTO DE ENLACES INALÁMBRICOS DE ÁREA
EXTENDIDA PUNTO A PUNTO, UTILIZANDO SOFTWARE
LIBRE**

AUTOR: TRUJILLO HERRERA ERIKA DANIELA

DIRECTOR: ING. AGUILAR DARWIN M.Sc.

SANGOLQUÍ

2017



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELÉCOMUNICACIONES**

CERTIFICADO

Certifico que el trabajo de titulación, "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ENLACES INALÁMBRICOS DE ÁREA EXTENDIDA PUNTO A PUNTO, UTILIZANDO SOFTWARE LIBRE" realizado por la señorita **ERIKA DANIELA TRUJILLO HERRERA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita **ERIKA DANIELA TRUJILLO HERRERA** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 2 de marzo de 2017



Ing. Darwin Aguilar M.Sc.
DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, ERIKA DANIELA TRUJILLO HERRERA, con cédula de identidad N° 1721162020, declaro que este trabajo de titulación "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ENLACES INALÁMBRICOS DE ÁREA EXTENDIDA PUNTO A PUNTO, UTILIZANDO SOFTWARE LIBRE" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado el derecho intelectual de terceros considerándose en citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 2 de marzo de 2017

Erika Daniela Trujillo Herrera

1721162020



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

Yo, **ERIKA DANIELA TRUJILLO HERRERA** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE ENLACES INALÁMBRICOS DE ÁREA EXTENDIDA PUNTO A PUNTO, UTILIZANDO SOFTWARE LIBRE"**, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 2 de marzo de 2017

Erika Daniela Trujillo Herrera

1721162020

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación se lo dedico principalmente a las personas que más amo, partícipes de mi vida y de mis años de estudio, mi padre Carlos Trujillo, quien me enseñó que no vale la pena mantenerse enojado o guardar rencor, a mi madre Germania Herrera que ha sido un ejemplo a seguir, una muestra de perseverancia, de paciencia y de amor.

A mi hermano Joao que ha sido mi amigo, mi hijo, mi acolite, un ejemplo de constancia y de quien espero siga superándose en todo sentido y guíe sus pasos por el buen camino.

A mis abues quienes me han enseñado que la experiencia y la sabiduría son más importantes de lo que parece y se lo adquiere con el tiempo.

Eri

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a Dios por la vida, por las cosas buenas de las cuales se han aprovechado sus frutos y por las cosas malas de las cuales he adquirido experiencia. Agradezco a mis padres que en base a su esfuerzo, valores y enseñanzas hoy tengo la oportunidad de culminar una fase importante en mi vida y a mi hermano que gracias a sus palabras de aliento y a su ejemplo ha sabido empujarme hacia esta meta.

Gracias infinitamente Joffre (negro) por el apoyo fundamental durante todo este tiempo, sabes que te mereces lo mejor.

Nancyta, de manera muy especial agradezco su incansable apoyo, sus oportunas palabras y sobre todo por reanimar mi fe.

También agradezco a todos mis primos que han sido mis hermanos y los más grandes cómplices en mi vida universitaria Vale, Ale, Pao, Any, Mary, Paúl, Gabriel, etc.

A las personas parte de esta experiencia con quienes hemos formado una gran amistad y a pesar del tiempo han sabido darme ánimo, gracias Gabyta A., Paúl A., Ronald A., Juank M., David M., Diego R., etc.

Gracias al Ing. Darwin Aguilar por toda la paciencia y el apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo, por ser profe, tutor y amigo.

Finalmente a los profes que aparte de compartir sus conocimientos en las aulas, han sido amigos fuera de ellas, gracias inges Rodolfo, Román, Diego, Darwin A., Carlos R., Freddy, Paúl B. Fabián, Montoya, etc.

Eri (Turú)

ÍNDICE

CERTIFICADO.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1	1
Generalidades.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Trabajos Relacionados.....	13
1.3. Alcance	17
1.4. Objetivos	18
CAPÍTULO 2	19
Fundamento Teórico	19
2.1. Optimización WAN	19
2.2. Optimización WAN y aceleración WAN.....	23
2.3. Herramientas optimizadoras de enlaces WAN.....	24
2.4. Modelos de Propagación.....	32
2.5. Políticas.....	36
2.6. Implementaciones más frecuentes.....	41

2.7. Parámetros de Transmisión y Recepción.....	43
CAPÍTULO 3.....	48
Escenario de Pruebas e Implementación.....	48
3.1. Entorno de Trabajo.....	49
3.2. Implementación.....	59
CAPÍTULO 4.....	72
RESULTADOS Y COMPARACIONES.....	72
4.1. Comparación entre aplicaciones optimizadoras <i>basadas en software libre</i>	72
4.2. Comparación entre aplicación optimizadora <i>basada en Software Libre</i> y Hardware optimizador dedicado.....	78
CAPÍTULO 5.....	82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
5.1. Conclusiones.....	82
5.2. Recomendaciones.....	83
Bibliografía.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro comparativo entre LAN y WAN.....	3
Tabla 2. Características de los estándares 802.11	8
Tabla 3. Política de Enrutamiento	37
Tabla 4. Políticas de QoS - Clasificación	38
Tabla 5. Políticas de QoS - Marcación.....	38
Tabla 6. Códigos DSCP	40
Tabla 7. Especificaciones técnicas IDUs y ODU's Radwin	46
Tabla 8. Especificaciones técnicas Antena Integrada Radwin	47
Tabla 9. Coordenadas de los sitios de trabajo	50
Tabla 10. Datos de Transferencia Inicial.....	59
Tabla 11. Datos sede Quito	62
Tabla 12. Configuraciones core UIO.....	63
Tabla 13. Datos sede Guayllabamba.....	64
Tabla 14. Configuraciones core GYB.....	65
Tabla 15. Configuraciones router GYB.	66
Tabla 16. Datos pruebas de transmisión - Wanos	76
Tabla 17. Datos – media transferencia con Wanos	76
Tabla 18. Datos pruebas de transmisión - CloudBridge.....	77
Tabla 19. Datos – media transferencia con CloudBridge.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Red LAN	2
Figura 2. Red WAN.....	2
Figura 3. Red LAN	3
Figura 4. Red WAN.....	4
Figura 5. Enlace WAN PTP.....	20
Figura 6. Logo Wanos.....	30
Figura 7. Logo CloudBridge	31
Figura 8. Radio Mobile	35
Figura 9. Modo Bridge.....	42
Figura 10. Modo Router	43
Figura 11. Radwin 2000 Fuente: (Radwin, 2016).....	44
Figura 12. Transmisión MIMO.....	45
Figura 13. ODU Radwin	45
Figura 14. IDU Radwin.....	46
Figura 15. Patrón de radiación de la Antena.....	47
Figura 16. Diagrama topológico - Escenario inicial de pruebas	48
Figura 17. Mapa ubicación de torres.....	49
Figura 18. Parámetros – Radio Mobile.....	50
Figura 19. Topología – Radio Mobile	51
Figura 20. Miembros – Sistema Superior	52
Figura 21. Miembros – Sistema Superior2.....	52
Figura 22. Sistemas – Radio Mobile	53
Figura 23. Resultado Enlace - Radio Mobile.....	54
Figura 24. Sucursal Guayllabamba – Repetidor Collaloma.....	55
Figura 25. Repetidor Collaloma – Sucursal norte	57

Figura 26. FTP – Transferencia Inicial	59
Figura 27. Diagrama topológico final del escenario de pruebas	60
Figura 28. Captura configuración Sw Core UIO	63
Figura 29. Configuración de enlaces en el firewall.....	63
Figura 30. Configuración de rutas en el firewall	64
Figura 31. Captura configuración Sw Core GYB.....	65
Figura 32. Captura configuración Router cliente GYB	65
Figura 33. Configuración inicial Wanos.....	67
Figura 34. Configuración inicial Cloudbridge.....	68
Figura 35. Políticas de enrutamiento – Wanos y Cloudbridge	69
Figura 36. Políticas QoS – Wanos y Cloudbridge	69
Figura 37. Políticas QoS Marcado – Wanos	70
Figura 38. Configuración de reglas	71
Figura 39. Wanos – Quito	72
Figura 40. CloudBridge – Quito.....	73
Figura 41. Wanos – Guayllabamba.....	74
Figura 42. CloudBridge – Guayllabamba	75
Figura 43. Transmisión – Wanos	76
Figura 44. Transmisión - CloudBridge.....	77
Figura 45. Tiempo Tx inicial vs Tiempo Tx software optimizador.....	78
Figura 46. Configuración Túnel Virtual GRE (Santos Logroño, 2014) ...	79
Figura 48. Técnica de Compresión	80
Figura 49. Optimización Software vs Hardware	81

RESUMEN

El proyecto de investigación se lo realizó con el objetivo de evaluar el desempeño de enlaces inalámbricos de área extendida punto a punto, utilizando software libre para la optimización de su rendimiento, comparar el rendimiento entre softwares libres utilizados y la comparación con hardware optimizador dedicado, parte de un trabajo realizado anteriormente. Se empezó buscando un enlace WAN para usar como escenario de pruebas, luego se realizó un breve estudio de las herramientas optimizadoras basadas en software libre existentes en el mercado, tomando en cuenta los requerimientos tanto físicos como lógicos y la adaptación a nuestro escenario de pruebas. Se realizó el análisis del enlace WAN y sus respectivos componentes y en base a éste análisis se seleccionaron dos de las aplicaciones basadas en software libre para analizar sus funcionalidades y realizar las pruebas de optimización del rendimiento del enlace WWAN. Se analizaron los resultados obtenidos con cada uno de los softwares libres implementados, para posteriormente realizar la comparación entre éstos resultados. Gracias a los resultados obtenidos del trabajo de titulación “Análisis y optimización del rendimiento de enlaces inalámbricos de área extendida, utilizando Hardware dedicado” realizado por Gustavo Santos, se pudo comparar entre los resultados arrojados por las herramientas basadas en software libre y los resultados emitidos por el hardware optimizador dedicado. La evaluación de estas comparaciones tuvo como consecuencia que al utilizar hardware optimizador dedicado se optimiza aproximadamente un 66,67% del canal, mientras que al utilizar software libre, en promedio se tiene aproximadamente un 14,55% de optimización del canal.

PALABRAS CLAVE:

- **ENLACE WWAN**
- **SOFTWARE LIBRE**
- **OPTIMIZACIÓN WAN**
- **RENDIMIENTO WAN**
- **CALIDAD DE SERVICIO**

ABSTRACT

The research project was carried out with the objective of evaluating the performance of point-to-point extended area wireless links, using free software for performance optimization, comparing performance between free software used and comparison with dedicated optimizer hardware, this one is part of a previous work. We started looking for a WAN link to use as a test scenario, this link is established and working in real time. A brief study of the optimization tools based on free software was made, verifying physical and logical requirements and adaptation to our test scenario. Then the analysis of the WAN link and its respective components and based on this analysis, two of the free software-based applications were selected to analyze their functionalities and to make WWAN link performance optimization tests. Later the optimization tools were implemented within the network infrastructure of the test scenario.

We analyzed the results obtained with each of the free software implemented, and then compare the results. Thanks to the results obtained from the titration work "Analysis and optimization of the performance of wireless links in an extended area, using Dedicated Hardware" by Gustavo Santos L., it was possible to compare between the results of the tools based on free software and the results with dedicated optimizer hardware. The evaluation of these comparisons resulted in the use of dedicated optimizer hardware to optimize approximately 66.67% of the channel, while using free software, on average, it has approximately 14.55% of channel optimization.

KEY WORDS:

- **WWAN LINK**
- **FREE SOFTWARE**
- **WAN OPTIMIZATION**
- **WAN PERFORMANCE**
- **QOS**

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. Introducción

Actualmente en el mundo de las comunicaciones existen cambios acelerados y llenos de innovaciones que afectan a cada uno de los ámbitos en los cuales se desenvuelven a diario las empresas, por lo que hoy en día se cuenta con diversas formas de comunicación y una variedad de servicios involucrados en el campo de las telecomunicaciones.

Las comunicaciones son la base primordial de supervivencia a nivel mundial, por lo que es importante contar con sistemas de telecomunicaciones lo suficientemente robustos como para brindar servicios en tiempo real que los usuarios requieren para satisfacer sus necesidades tecnológicas.

Redes LAN y WAN

La denominación LAN (Local Area Network) a veces apunta a una subred, implementada en un mismo sitio como por ejemplo una oficina o edificio. Como se puede observar en Figura 1. Los puntos finales de una red LAN se conectan a una topología de red compartida usando un protocolo definido. Con la autorización adecuada, se tiene la capacidad de ingresar a los dispositivos de la LAN, éstos pueden ser estaciones de trabajo, impresoras, entre otros, desde cualquier otro dispositivo de la misma. Las aplicaciones de software desarrolladas para las LAN como mensajería electrónica, procesamiento de texto, hojas electrónicas, también admiten ser compartidas por los usuarios.

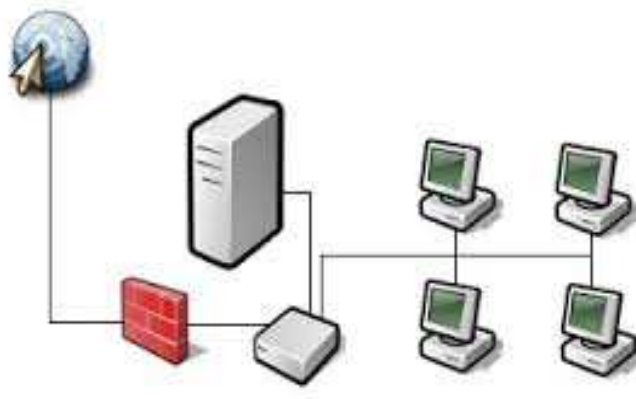


Figura 1. Red LAN

Fuente: (Paez, 2013)

Una red de área ancha o WAN (Wide Area Network) es una colección de LAN conectadas como muestra la Figura 2. Las redes WAN pueden interconectar a ciudades, países o continentes. Las redes LAN que comprenden una WAN utilizan routers para dirigir sus paquetes al destino apropiado. Los routers son dispositivos hardware que enlazan diferentes redes para suministrar el camino más eficiente para la transmisión de datos. Estos routers se encuentran conectados por líneas de datos de alta velocidad, generalmente fibra óptica.

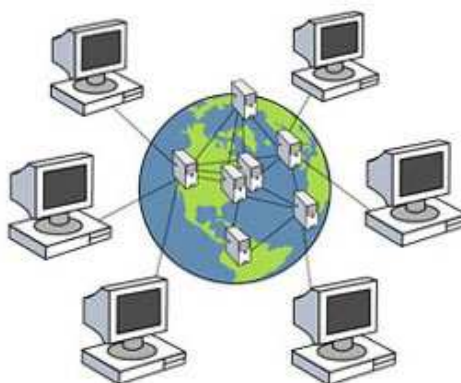


Figura 2. Red WAN

Fuente: (Lezcano, s.f.)

En la Tabla 1 se puede apreciar algunas de las diferencias entre la LAN y la WAN.

Tabla 1.
Cuadro comparativo entre LAN y WAN

Red LAN (Red de Área Local)	Red WAN (Red de Área Amplia)
Su extensión está limitada físicamente a un edificio o a un entorno de hasta 1000 metros.	Red de computadoras capaz de cubrir distancias extensas de hasta unos 1000 km, proveyendo de servicio a un país o un continente.
Uso de un medio de comunicación privado.	Es un sistema de interconexión de equipos informáticos geográficamente dispersos, que pueden estar incluso en continentes distintos.
La simplicidad del medio de transmisión que utiliza (UTP, fibra óptica).	Muchas WAN son construidas por y para una organización o empresa particular y son de uso privado.
Puede llegar a más distancia si se usan repetidores.	Algunas son construidas por los proveedores de internet para brindar conexión a sus clientes.

En la Figura 3 y en la Figura 4 se observa topológicamente la diferencia entre una red LAN y una red WAN respectivamente.



Figura 3. Red LAN

Fuente: (Emaze, s.f.)

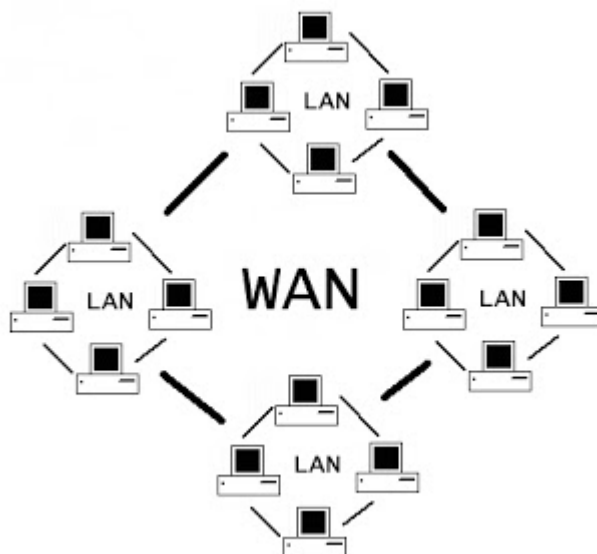


Figura 4. Red WAN

Fuente: (DISQUS, 2014)

Ventajas de la red WAN

- No se limita a definidos espacios geográficos.
- Brinda una amplia gama de medios de transmisión, como por ejemplo los enlaces satelitales o la fibra óptica, entre otros.

Estándares IEEE WLAN

802.11a

La revisión del estándar 802.11a en 1999 fue aprobada. El mencionado estándar opera en la banda de 5 GHz y utiliza 52 subportadoras de acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) con una velocidad teórica máxima de 54 Mbit/s, lo que lo hace un estándar práctico para redes inalámbricas con velocidades reales de aproximadamente 30 Mbit/s. La velocidad de datos se reduce a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbit/s en caso de ser necesario. Esta regulación 802.11a significa evitar generalmente la interferencia de señales de otros productos inalámbricos de consumo como teléfonos inalámbricos

802.11a no puede inter-operar con equipos del estándar 802.11b, excepto si se dispone de dispositivos que implementen ambos estándares (Mitchell, 2016).

802.11b

La revisión del estándar original 802.11b fue corroborada en 1999. 802.11b tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps y utiliza el mismo método de acceso que usa el estándar original CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect). El estándar 802.11b funciona en la banda de 2,4 GHz. Debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CA, en la práctica la velocidad máxima de transmisión con este estándar es de aproximadamente 5,9 Mbit/s sobre TCP y 7,1 Mbit/s sobre UDP.

802.11b es la tecnología de comunicación de red inalámbrica Wi-Fi que obtuvo una adopción masiva por parte de los consumidores. Los productos 802.11b se hicieron obsoletos y se reemplazaron por los nuevos estándares Wi-Fi 802.11g y 802.11n (Mitchell, 2016).

802.11g

En junio de 2003 se ratificó un tercer estándar de modulación, el 802.11g que es la evolución del 802.11b. El estándar 802.11g opera en la banda de 2,4 Ghz al igual que 802.11b pero opera a una velocidad teórica máxima de 54 Mbps, similar a la velocidad del estándar 802.11a. Éste estándar es compatible con el estándar 802.11b y utiliza las mismas frecuencias.

802.11g incorporó la técnica de comunicación llamada Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) que fue introducida originalmente en Wi-Fi con 802.11a. La técnica OFDM permitió que 802.11g lograra un rendimiento de red significativamente mayor que 802.11b (Mitchell, 2016).

802.11n

802.11n es un estándar que fue ratificado en 2009, utiliza múltiples antenas inalámbricas para transmitir y recibir datos. El término asociado MIMO se refiere a la capacidad de 802.11n y tecnologías similares para coordinar múltiples señales de radio simultáneas.

MIMO (Multiple-input Multiple-output) es un método de comunicación que multiplica la capacidad de un enlace de radio, utilizando múltiples antenas de transmisión y recepción, aprovecha fenómenos físicos como la propagación multicamino para incrementar la tasa de transmisión y reducir la tasa de error.

A diferencia de las otras versiones de Wi-Fi, 802.11n puede trabajar en dos bandas de frecuencias 2,4 GHz (la que emplean 802.11b y 802.11g) y 5 GHz (la que usa 802.11a). Gracias a ello, 802.11n es compatible con dispositivos basados en todas las ediciones anteriores de Wi-Fi. Además, es útil que trabaje en la banda de 5 GHz, ya que está menos congestionada y permite alcanzar un mayor rendimiento. 802.11n está diseñado para reemplazar las tecnologías 802.11a, 802.11b y 802.11g (Mitchell, 2016).

802.11ac

802.11ac es un estándar para redes inalámbricas Wi-Fi más avanzado que el estándar 802.11n. 802.11ac representa la quinta generación de tecnología Wi-Fi por lo que también es conocido como WIFI 5G. Para ser competitivo en la industria y soportar aplicaciones cada vez más comunes como la transmisión de vídeo se requiere redes de alto rendimiento, 802.11ac fue diseñado para funcionar a Gigabit Ethernet y opera en el rango de señal de 5 GHz.

Los desarrolladores de 802.11ac hicieron esta elección por dos razones:

- Para evitar problemas de interferencia inalámbrica común a 2,4 GHz como muchos otros tipos de aparatos de consumo que utilizan estas mismas frecuencias (debido a las decisiones reguladoras gubernamentales).

- Para implementar canales de señalización más amplios que el espacio de 2,4 GHz permite.

Gigabit Ethernet es una ampliación del estándar Ethernet (concretamente la versión 802.3ab y 802.3z del IEEE) que consigue una capacidad de transmisión de 1 gigabit por segundo, correspondientes a unos 1000 megabits por segundo de rendimiento (Rouse, 2007).

802.11ac ofrece tasas de datos teóricas de hasta 1 Gbps. Esto lo hace a través de una combinación de mejoras de señalización inalámbrica, en particular:

- Canales que utilizan una mayor extensión de frecuencias de señal.
- Mayor número de radios MIMO y antenas para permitir transmisiones simultáneas.

Además de estas normas básicas, también existen otros estándares relacionados con 802.11 como:

802.11e

Extensiones de calidad de servicio (QoS) a 802.11a/b.

802.11ad

Un protocolo inalámbrico que trabaja a 60 GHz (no es un reemplazo para 802.11ac).

En la **Tabla 2** se resume brevemente las características principales de los estándares 802.11.

Tabla 2.
Características de los estándares 802.11

ESTÁNDAR	VELOCIDAD MÁXIMA	FRECUENCIA	COMPATIBLE CON MODELOS ANTERIORES
802.11a	54 Mbps	5 GHz	No
802.11b	11 Mbps	2.4 GHz	No
802.11g	54 Mbps	2.4 GHz	802.11b
802.11n	600 Mbps	2.4 GHz o 5 GHz	802.11a/b/g
802.11ac	1,3 Gbps	5 GHz	802.11a/n

Fuente: (Mitchell, 2016)

A pesar de los múltiples beneficios que nos brindan las comunicaciones inalámbricas, una de las desventajas que poseen los sistemas inalámbricos en general, es que ofrecen un menor ancho de banda y por ende una menor velocidad de conexión en comparación con los sistemas cableados, debido fundamentalmente a parámetros como las interferencias, latencia y pérdidas de señal que se generan en el medio durante la transmisión de datos.

Dichos parámetros tienen un efecto adverso en el rendimiento de los enlaces y se agravan aún más cuando diferentes aplicaciones con requisitos únicos acceden a los recursos de la red. Por ejemplo, el tráfico WAN de voz debe ser manipulado de forma distinta al tráfico web cuando se trata de un enlace WAN.

Gracias al desarrollo y evolución de las aplicaciones, las convencionales redes WAN han visto la necesidad de reducir costos, mejorar la productividad, acelerar las aplicaciones de negocio y elevar la seguridad de los datos de donde nace la alternativa de optimizar el enlace WAN.

El paso del tiempo ha traído consigo la innovación de sistemas de optimización para WAN basados en hardware pero también se han desarrollado sistemas basados en software, los cuales han creado expectativa debido a su despliegue sobre la plataforma GNU/LINUX, por lo que la motivación de éste proyecto de graduación permitirá conocer y comprender

algunos de los sistemas optimizadores de software libre más relevantes para la optimización de enlaces WAN punto a punto.

Se analizaron varios sistemas de optimización WAN de código abierto, con el fin de seleccionar herramientas que proporcionen mejores características para cumplir con el propósito de ésta investigación.

OPENNOP (OPEN NETWORK OPTIMIZATION PLATFORM)

Es un acelerador de software libre de Linux (Open Suse) basada en la red. Está diseñado para la optimización del tráfico de red de punto a punto, de malla completa y de malla parcial en redes WAN.

El objetivo principal de OpenNop es mejorar el rendimiento de la red en baja velocidad, las conexiones de red RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), DSL (Línea de Abonado Digital), VPN (Red Privada Virtual) y otros circuitos de la WAN. Para lograr esto se puede utilizar distintas técnicas como compresión, la deduplicación, almacenamiento en memoria caché y suplantación de protocolo (Yaple, 2016).

Características relevantes

- Detección Automática
- Capacidad de carga de compresión TCP
- Túneles
- Soporte para red de malla

Requisitos mínimos de hardware

- Procesador: CPU dual core
- Memoria Ram: 1024 Mb
- Disco duro: 40 Gb
- NIC: 10/100 Mb

WANPROXY

El sistema WanProxy fue desarrollado principalmente para almacenar copias constantes de seguridad de manera eficiente, este software ha demostrado ser muy factible para la optimización de la WAN básica y ha sido empaquetado como WANPROXY. Puede ser utilizado para el tráfico de proxy ya sea para una casa o sucursal de un centro de datos, en una oficina principal o para un sitio remoto.

WanProxy es un proxy libre y portable, permite que las conexiones TCP envíen menos datos, así mejora el rendimiento por medio de vínculos, enlaces con poca pérdida y enlaces largos. Esta solución de optimización puede ser desplegada de forma transparente para comprimir todo el tráfico TCP entre dos extremos.

WanProxy también se puede utilizar para filtrar datos a través de un proxy Squid en lugar del método estándar que se encarga de restringir el tráfico con las reglas de IPTables (permite crear reglas para cada filtrado de paquetes) en Linux.

Mediante WanProxy el fruto de filtrado de tráfico es que el usuario obtenga muchos beneficios a nivel de compresión. WanProxy permite almacenar algunos datos en caché, es por esto que la duplicación de datos no tiene que ser reenviados a través de la WAN (WANProxy, 2015).

Características relevantes

- Es un compresor de diccionario desarrollado para el programa rsync (aplicación libre que ofrece transmisión eficiente de datos incrementales, también datos comprimidos y cifrados), y ampliado para mejorar el rendimiento.
- Tiene soporte para zlib (biblioteca de compresión de datos, de software libre, multiplataforma) basado en la compresión y la deduplicación de datos.
- Es útil cuando se combina con la tecnología de cache.

- Posee un servidor proxy SOCKS4 y SOCKS5 que le permite fácilmente realizar túnel.
- Está escrito en el lenguaje de programación C++.
- Desarrollado y probado en una variedad estándar de plataformas como Unix y Unix-like, con soporte preliminar para Windows.
- Es portable a otras plataformas con un esfuerzo mínimo.

TRAFFICSQUEEZER

Es un proyecto de software libre que proporciona una solución de tráfico en la red a través de la aceleración WAN, también provee solución de optimización de internet y cualquier red de datos, brindando así una optimización en las comunicaciones a través de una serie de procedimientos basados en GNU Linux.

TrafficSqueezer es considerado como un paquete de red de herramientas de ingeniería, en el cual se puede utilizar iptables para diseñar o modificar el tráfico, además esta solución cuenta con algunas funciones adicionales para los siguientes contextos:

- Contexto de la ingeniería de tráfico
- Contexto de la optimización WAN
- Contexto general de datos de la optimización y reducción de datos por cualquier medio o por todos los medios posibles para optimizar los datos.

TrafficSqueezer tiene su interfaz gráfica basada en hardware y software de usuario a través de Aquarium.

Los servicios de WDS (Wireless Distribution System) están disponibles para hacer frente a las necesidades de empresas de todos los tamaños. Esta herramienta proporciona aplicaciones con mayor capacidad de respuesta, lo que permite la consolidación de la infraestructura distribuida de TI para así obtener *backups* rápidos y las funciones de replicación basada en la red.

TrafficSqueezer optimiza el tráfico en ambas direcciones, de modo transparente a las aplicaciones, y no requiere software cliente y servidor. Está diseñado para integrarse fácilmente a la red existente sin necesidad de routers o cambios en los servidores y cuenta con total compatibilidad con las implementaciones existentes de QoS y VoIP (Kankipati, 2016).

TrafficSqueezer es considerado como un paquete de red de herramientas de ingeniería, en el cual se puede utilizar iptables para diseñar o modificar el tráfico, además esta solución cuenta con algunas funciones adicionales para los siguientes contextos:

- Contexto de la ingeniería de tráfico
- Contexto de la optimización WAN
- Contexto general de datos de la optimización y reducción de datos por cualquier medio o por todos los medios posibles para optimizar los datos.

WANOS

El software de optimización de la WAN Wanos puede ser appliance de la red física o virtual, el mismo reduce los costos de tráfico, acelera la velocidad y mejora la calidad de la red.

Wanos Networks ofrece una optimización que provee reducción del costo de ancho de banda y una tecnología de aceleración rápida a redes en las que las soluciones de optimización de calidad premium no son económicamente viables.

De acuerdo a la información conseguida en el portal de Wanos, fue fundada en 2013 en base a la necesidad de soluciones de optimización WAN, ofrece el 80% o más de los beneficios premium a un 20% o menos del costo típico de un proveedor de optimización WAN con hardware dedicado. Wanos ha ganado la confianza de los clientes y se ha comercializado en más de 25 países (Wanos Networks, 2015).

CLOUDBRIDGE

El firmware de CloudBridge versión 7.3 está lleno de particularidades, ofrece visibilidad mejorada, direcciones de nuevos protocolos de aplicación y facilidad de despliegue de la solución.

La WAN tradicional no fue diseñada para abordar el tráfico de aplicaciones que se tiene hoy en día. CloudBridge es una solución definida por software para la WAN, ofrece un enfoque más escalable, confiable y preparado para la nube. Combinando la inteligencia de la tecnología SD-WAN, la optimización WAN, el enrutamiento y la gestión de aplicaciones en una solución completa, garantiza que la experiencia del usuario en el nivel de la sucursal y el móvil sea tan rica y perfecta como en la matriz (Citrix, Citrix Systems, 2016).

Cuando se trata del software libre de CloudBridge, se pueden destacar las siguientes características relevantes:

- Optimización sobre HTTPS
- Almacenamiento en caché
- Configuración automática con Command Center

1.2. Trabajos Relacionados

Con el pasar del tiempo el mercado de la optimización WAN continúa evolucionando hacia la tendencia de la estandarización, aunque mantenga maneras diferentes de desempeñarse en la práctica. Hoy por hoy, la fundamental innovación está ligada a plataformas de optimización que permiten a las redes migrar hacia plataformas más robustas.

Hasta el día de hoy, a la optimización WAN se la ha considerado como una tecnología sistemática, la cual es utilizada para incrementar la velocidad del rendimiento de aplicaciones como por ejemplo el correo electrónico y la transferencia de archivos mediante WAN particulares. En la actualidad este tipo de enlaces demandan mayor volumen de recursos, especialmente si hablamos de enlaces inalámbricos punto a punto mediante los cuales se brinda una gran variedad de aplicaciones, los mismos que requieren más de

una tecnología de aceleración, impulsando así la necesidad de una amplia escala de técnicas para optimizar la WAN.

Hasta el momento no se encuentra investigación, proyectos de grado o estudios específicos acerca de la optimización de enlaces WAN mediante software libre. Sin embargo, existe documentación de investigaciones realizadas y proyectos de graduación relacionados con la optimización de enlaces de área extendida utilizando hardware dedicado, Santos Logroño recomienda analizar la optimización del rendimiento de los enlaces WAN mediante aplicaciones optimizadoras basadas en software libre.

Dicha documentación, exterioriza la evaluación del desempeño de enlaces inalámbricos de área extendida optimizados mediante *hardware* dedicado y resalta el beneficio de comparar los resultados obtenidos. Para esto, menciona que se analizaron diferentes técnicas y funcionamientos de los equipos optimizadores de enlaces WAN.

El documento muestra la configuración que se ha implementado dentro de la solución de hardware optimizador dedicado. Posteriormente se observan las pruebas de rendimiento usando servidores de aplicación e inyección de tráfico tanto TCP como UDP, simulando un ambiente de operación real. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que la solución de optimización planteada satisface y mejora notablemente los parámetros de rendimiento del enlace WWAN tanto para transmisiones de tráfico TCP como UDP (Santos Logroño, 2014).

Por otro lado, como referencia se consiguió el proyecto de grado de Suárez Armijos, acerca del estudio de los optimizadores WAN, el cual presenta sus características fundamentales, el funcionamiento de los protocolos que utilizan dichos optimizadores, las técnicas mediante las que los optimizadores logran un resultado positivo cuando se trata de mejorar la eficiencia de un enlace WAN.

También muestra algunos algoritmos que se utilizan para la optimización de tráfico como son el Algoritmo de Leaky Bucket y Token Bucket. Menciona

además una breve descripción de la tecnología actual que manejan algunas de las marcas más conocidas que ofrecen soluciones de optimizadores WAN.

Argumentando como parte importante en éste caso, el documento de Suárez Armijos señala un corto resumen acerca de los más relevantes optimizadores de código abierto, de acuerdo al criterio del autor (Suárez Armijos, 2012).

Adicionalmente, se han realizado 2 artículos acerca del tema de optimización WAN, el primero de ellos se titula *Performance and optimization of wide area wireless links using dedicated hardware* donde se tiene como objetivo evaluar el rendimiento de los enlaces inalámbricos de área amplia con el fin de optimizar y comparar los resultados. Para ello, se han analizado diferentes técnicas y funcionamiento de los optimizadores WAN. Posteriormente, se ha diseñado e implementado un enlace de punto a punto WWAN y se ha configurado una solución de optimización con hardware dedicado.

Por último, en dicho artículo se muestra la realización de pruebas de rendimiento utilizando servidores de aplicaciones e inyección de tráfico TCP y UDP utilizando un entorno de operación real. Con los resultados obtenidos se concluye que la optimización satisface y mejora significativamente todos los parámetros de rendimiento del enlace WWAN para transmisiones TCP y UDP (Aguilar, Lara, León, & Santos, IEEE, 2016).

El segundo artículo se denomina *Performance Analysis and Optimization of TCP Protocol New Algorithm using Dedicated Hardware*, este trabajo evalúa el rendimiento del protocolo TCP nuevo algoritmo en un enlace inalámbrico de área amplia con el fin de optimizar y comparar los resultados. Para ello los autores proponen una solución de optimización y QoS para mejorar el rendimiento del nuevo algoritmo TCP. El documento también indica el diseño e implementación de un enlace WWAN punto a punto y la solución de optimización que se ha configurado en el utilizando hardware dedicado.

Finalmente, muestran las pruebas de rendimiento mediante la inyección de tráfico TCP que se han realizado utilizando un entorno de operación real. De acuerdo a los resultados obtenidos se ha concluido que la solución de

optimización propuesta, mejora los parámetros de rendimiento del enlace WWAN utilizando el nuevo algoritmo (Aguilar, Lara, León, & Santos, IEEE, 2016).

El presente proyecto de investigación se encuentra enfocado a enlaces inalámbricos punto a punto, los cuales presentan la mayor cantidad de problemas y por lo tanto son considerados enlaces que generan mayor consumo de recursos y a herramientas optimizadoras de enlaces WAN basadas en software libre ya existentes.

De forma general, la optimización de enlaces WAN es un tema de interés mundial que atrae la atención de muchas empresas. Todo esto debido fundamentalmente a las ventajas tanto de funcionamiento como de costos que permite al usuario tener un mejoramiento considerable en su red, sin tener que invertir en gastos excesivos e innecesarios.

La gran importancia del acceso rápido y confiable a los recursos de red es la razón por la cual los usuarios han visto la necesidad de optimizar el rendimiento de sus enlaces WAN, con el objetivo de incrementar la eficiencia de los servicios al menor costo posible, implementando métodos de optimización WAN basados en software libre.

La iniciativa fundamental dentro del actual desarrollo es el software libre para la optimización de enlaces WAN, pues la necesidad de disminuir costos sin dejar de lado la productividad de los negocios, han puesto a prueba al código abierto como optimizador de enlaces WAN, los cuales brindan aplicaciones gratuitas con facilidad de traducir su contenido en varios idiomas y con la ventaja de ser totalmente independientes del autor.

Las tecnologías de optimización WAN entregan tres importantes beneficios, permiten reducir los costos de infraestructura de las oficinas remotas o sucursales, facilitando la centralización de servidores, *backup*, aplicaciones y almacenamiento en el centro de datos. En segundo lugar, mantienen el costo económico del enlace WAN, pero incrementa la capacidad, disponibilidad y eficiencia de éste. Finalmente en tercer lugar, mejora la productividad de los empleados y la agilidad de los negocios a través de la WAN.

El costo que conlleva la implementación de un nuevo enlace o el aumento de capacidad del enlace existente, representa un costo significativo que no siempre está dentro del presupuesto del usuario que por lo general busca mejorar su red utilizando los mismos recursos, sin necesidad de atarse a contratos o pagos adicionales, por lo que el factor económico es fundamental en este proceso.

1.3. Alcance

El alcance del presente proyecto implica el análisis de la optimización del rendimiento de un enlace de área extendida punto a punto, usando herramientas optimizadoras de WAN basadas en software libre ya existente. Comprende el estudio de sus características y funcionamiento para posteriormente comparar los resultados del rendimiento y eficiencia frente a los resultados arrojados por un *hardware* dedicado.

También se analizan las configuraciones que se establecen como prioritarias para mejorar los parámetros de calidad del enlace en base al escenario de pruebas planteado.

Después de realizar el análisis de varios softwares libres existentes, tomando en cuenta sus características de factibilidad, viabilidad, y despliegue se considera trabajar con Wanos y con CloudBridge.

Actualmente ya existen estudios realizados acerca de *hardware* dedicado para la optimización de enlaces WAN, sin embargo por el costo de estos equipos, se propone utilizar software libre, y con éstos resultados realizar una comparación para evaluar el desempeño y rendimiento que proporcionan tanto el software como el hardware.

Las pruebas para optimizar la red WAN bajo software de código abierto se realizarán sobre un enlace real, con el objetivo de medir los parámetros de optimización de un enlace en productividad, para tratar de esta forma que los resultados sean fiables y comparables.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Analizar el desempeño de enlaces inalámbricos de área extendida punto a punto, utilizando Software Libre para la optimización de su rendimiento.

1.4.2. Específicos

- Analizar las características y funcionamiento de las aplicaciones optimizadoras de enlaces WAN basadas en software libre.
- Definir el escenario de un enlace inalámbrico de área extendida punto a punto como objeto de estudio para el presente proyecto.
- Analizar el desempeño del enlace WAN optimizándolo con cada una de las aplicaciones de software libre.
- Comparar el rendimiento y parámetros obtenidos entre cada uno de los softwares libres optimizadores.
- Comparar el rendimiento y parámetros obtenidos entre el software libre y hardware dedicado ya realizado en proyectos anteriores.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Optimización WAN

El incremento incontrolable del tráfico corporativo, la predisposición a la distribución geográfica en sucursales al tiempo que se consolidan los recursos TI, el amparo cada vez mayor de nuevas aplicaciones de voz y vídeo IP, y la penetración imparable en las organizaciones de los nuevos modelos de operación que impone la movilidad y el *cloud computing*, hacen de la WAN uno de los elementos clave sobre los que se sustenta hoy los negocios. Una WAN que no esté preparada para dar soporte a la demanda continua de ancho de banda y optimización del rendimiento que todos estos factores provocan, acabará suponiendo más pronto que tarde, una barrera a la productividad y al crecimiento corporativo.

Hoy por hoy, el sector empresarial busca mejorar el rendimiento de su red, acelerando el proceso de productividad y disminuyendo el uso del ancho de banda, por lo que la optimización del enlace WAN se ha convertido en una prioridad para mantener el negocio. En el posible caso que una empresa cuente con sucursales, quiere decir que maneja trabajo móvil, utilizando recursos fuera de las instalaciones donde se encuentra el equipamiento principal, aplicaciones y almacenamiento.

Anteriormente, el tráfico que fluía a través de la LAN era relativamente ligero y a menudo basado en texto simple, pero a medida que la actividad de la red se expande en el archivo de datos, voz y multimedia, los enlaces WAN son cada vez más pequeños e insuficientes para transmitir toda la información generada.

Cada vez va en aumento la demanda por los recursos que brinda la WAN, los usuarios cuentan con opciones para prevenir la depreciación del rendimiento del enlace y evitar la disminución de la productividad:

Enlaces WAN más rápidos.- El aumento de ancho de banda a través de enlaces privados es una opción, tomando en cuenta que puede resultar una propuesta muy costosa.

Mejorar eficiencia de la red.- Enviar menor cantidad de datos a través del ancho de banda existente en cada institución, mientras se aplican técnicas para el mejoramiento del nivel de funcionalidad.

Esta mejora en la eficiencia de la red se la conoce como optimización WAN. Los enlaces WAN comprenden una extensión geográfica relativamente extensa, y generalmente permiten que diferentes instituciones puedan interconectarse utilizando una misma red de comunicaciones. Haciendo uso de este tipo de enlaces se pueden conectar diferentes localidades utilizando conexiones satelitales o con antenas de radio que pueden trabajar con distintas tecnologías de transmisión.

La forma más común de redes WAN inalámbricas en nuestro medio, es utilizando radios que se interconectan para comunicar dos o más localidades separadas geográficamente por una distancia considerable, como se muestra en la Figura 5., el uso de redes cableadas resultaría difícil de implementar, a este tipo de enlaces se los denominan enlaces WWAN PTP (punto a punto).



Figura 5. Enlace WAN PTP

Fuente: (Santos Logroño, 2014)

Al ser enlaces que transportan gran cantidad de información, que en la mayoría de casos es información sensible como datos en tiempo real o aplicaciones multimedia, se vuelve la región más delicada de toda la red de comunicaciones, pues si no se garantiza un correcto desempeño en este enlace, probablemente los usuarios que necesiten acceder a los servicios ofrecidos no obtengan el resultado deseado.

En respuesta al crecimiento de la red y de las demandas de los usuarios, las soluciones de optimización son una buena elección debido a las ventajas que ofrece para contrarrestar los efectos adversos generados en los enlaces WWAN.

Las soluciones optimizadoras de WAN proporcionan visibilidad, control, aceleración y gestión del rendimiento de los enlaces. Estos cuatro elementos se complementan entre sí para mitigar los problemas de rendimiento presentes en la WWAN.

a) Visibilidad del enlace

Identifica qué aplicaciones atraviesan el enlace, qué porcentaje de capacidad consumen, qué tan bien funcionan y dónde se originan los retrasos. Tener visibilidad del enlace permite detectar y clasificar las aplicaciones para determinar prioridades y poder aplicar técnicas de QoS. También identifica los usuarios, servidores y destinos del tráfico generado. Además analiza el uso del ancho de banda, tiempo de respuesta y fuentes de retraso esenciales para el buen funcionamiento de un enlace WWAN.

b) Control de la capacidad del enlace

Basado en políticas de asignación de ancho de banda se logra aprovechar al máximo el rendimiento de las aplicaciones sobre la WWAN. De esta forma se protege las aplicaciones críticas, limitando el uso de tráfico recreativo y bloqueando el tráfico malicioso.

c) Aceleración del tráfico

La aceleración del tráfico permite que más datos fluyan mediante el enlace WWAN, liberando ancho de banda para las aplicaciones críticas que más lo necesitan. Además permite que la información se transmita a través de distancias más largas, es decir sobre enlaces de alta latencia sin generar pérdida de paquetes ni distorsión de la señal.

d) Administración del enlace

La adecuada administración del enlace permite crear informes y gestionar los equipos de forma centralizada, utilizando un sistema de información y gestión de políticas de acuerdo a las necesidades del enlace WAN.

2.1.1. Ventajas

Además de las ventajas señaladas anteriormente, la optimización WAN permite reducir costos de TI (Tecnología de la información) y mejorar la seguridad de la información, permitiendo la centralización de servidores y sistemas de almacenamiento.

Asimismo, mejora el rendimiento y la fiabilidad de las copias de seguridad, replicación y recuperación de información sensible a través del enlace WAN.

También al momento de optimizar la WAN, tiene que ver con la entrega de aplicaciones de forma segura y con el rendimiento mejorado respecto a los métodos de aceleración de aplicaciones existentes.

A parte de lo que ya se ha mencionado, la implementación de una solución para optimizar la WAN no requiere de ningún cliente o reconfiguración de las aplicaciones ya determinadas, por lo que su despliegue se vuelve rápido y sencillo en una infraestructura ya existente.

2.2. Optimización WAN y aceleración WAN

En muchas ocasiones el concepto de optimización WAN y la aceleración WAN suelen confundirse como una misma tecnología. Ya sea la aceleración WAN (aceleración de aplicaciones) como la optimización WAN pueden tener los mismos objetivos en su planteamiento:

- Optimizar el uso de la red y sus correspondientes recursos
- Mejorar la experiencia del usuario a nivel del acceso a los archivos, base de datos, etc.
- Maximizar el rendimiento de la red.

Al parecer éstos objetivos son los mismos, sin embargo la diferencia está en los métodos que pueden usarse para cada uno de los fines.

La optimización WAN regularmente proporciona un alto nivel de optimización sobre los protocolos de red y de transporte a través de la descarga de las sesiones SSL, de la eliminación de datos redundantes o deduplicación, optimización de TCP, incluye conocimientos selectivos, mayor tamaño de ventana y búfer, mejoras en los arranques lentos y el mecanismo de congestión (Hooper, 2012).

Cuando se habla de acelerar las aplicaciones va dirigido a los niveles inferiores del modelo OSI, como es el nivel de aplicaciones, tiene la capacidad de proporcionar ciertas mejoras a algunas aplicaciones que se utilizan a través de la WAN, las cuales no han sido diseñadas para ser utilizadas fuera de una red LAN. Por ejemplo, la aceleración de aplicaciones tiene la capacidad de eliminar el exceso de “charla” en los protocolos de transferencia de archivos CIFS (Common Internet File System) y brinda mecanismos tales como Lectura-Adelantada o Escritura-Atrasada, caché de objetos, paralelización o pre-posicionamiento (Hooper, 2012).

2.3. Herramientas optimizadoras de enlaces WAN

La productividad se destruye cuando la infraestructura de escritorio virtual, la voz sobre IP (VoIP) o las conexiones de videoconferencia sufren de jitter o de desconexión. Los empleados se quejan cuando las aplicaciones que se encuentran en la nube tardan demasiado tiempo en responder. El trabajo se detiene cuando los empleados pierden el acceso a ERP, CRM u otras aplicaciones empresariales.

El enfoque llamado optimización de enlaces WAN brinda solución a este tipo de inconvenientes y el mercado ofrece sistemas tanto en hardware como en software.

La solución en hardware comprende el equipo o *appliance* con el software incluido; es decir listo para realizar las configuraciones relevantes que se necesiten de acuerdo a las políticas de la empresa para el adecuado funcionamiento dentro de la infraestructura de red.

Por otro lado se encuentra la solución en software, el cual se lo puede instalar sobre un servidor abierto compatible con el sistema o se tiene las imágenes .iso y los paquetes OVF que nos ayudan para habilitar los distintos sistemas de optimización como una máquina virtual, para posteriormente realizar ciertas configuraciones que se adecuen a la necesidad requerida.

Para el presente proyecto de investigación se analizarán, se estudiarán y se implementarán los softwares de código abierto que se describen a continuación.

2.3.1. WANOS

Wanos es un software de optimización WAN que proporciona la reducción de costos en ancho de banda y tecnología de aceleración de redes, las redes logran esto con deduplicación de flujo cruzado, recuperación de pérdida de paquetes, calidad de servicio y compresión de flujo.

Estas son las tecnologías clave que trabajan juntas para aumentar la eficiencia de la transferencia de datos, mejorar la experiencia del usuario y ahorrar costos. Para ofrecer a los clientes la máxima elección y retorno de la inversión, Wanos se ejecuta sobre hardware compatible o como aplicaciones virtuales sobre VMware ESXi e Hyper-v.

Debido a los costos excepcionalmente altos de la optimización de WAN, los gerentes de TI todavía están eligiendo actualizaciones de ancho de banda sobre optimización. Los creadores de Wanos Networks creen que esta tecnología debe ser implementada en todas las redes de área extensa, poniendo en ejecución el diseño de una solución eficaz que está dirigida a entregar el máximo rendimiento de la inversión en el menor tiempo posible.

Funcionalidades

- **Recuperación de la pérdida de paquetes**

Mantiene un RTT (Round-trip delay time) preciso del enlace WAN para detectar y recuperarse de la pérdida anticipadamente, que asegura la transmisión de datos de forma fiable, mejora la calidad del enlace, mejora el rendimiento de las aplicaciones y acelera el TCP.

- **Deduplicación**

La deduplicación de flujo cruzado elimina los patrones de bytes deduplicados, independientemente del protocolo de origen, la aplicación o la sesión que originó los datos iniciales.

- **Calidad de Servicio**

La clasificación, el marcado y la conformación del tráfico garantizan que el tráfico prioritario y el tráfico con gran ancho de banda reciban la calidad de servicio más óptima.

- **Compresión de flujo**
Habilitado con PLR (Public Lending Right), la compresión de flujo en tiempo real produce las mayores relaciones de compresión y ahorros de ancho de banda.
- **Optimización bidireccional**
La optimización bidireccional completa, garantiza que las rutas de tráfico ascendente y descendente compartan la misma caché de bytes de deduplicación para obtener eficientes relaciones de compresión.
- **Interfaz Gráfica del Usuario**
La Interfaz Web está alimentada por código abierto de Linux, el cual proporciona visibilidad en el rendimiento del optimizador WAN, estadísticas de protocolo, información del estado del sistema y opciones de configuración (NetSolusi, 2015).

2.3.2. CLOUDBRIDGE

CloudBridge proporciona una plataforma unificada que acelera las aplicaciones a través de redes públicas y privadas, lo que resulta una experiencia eficiente frente al usuario final. CloudBridge ofrece una amplia base de funciones que incluyen aceleración de protocolos, túneles seguros entre ubicaciones empresariales y sofisticada calidad de servicio (QoS). CloudBridge combina estas características con el ancho de banda y el uso de informes para la optimización de aplicaciones que ofrece a la TI control sobre los recursos de la red pública y privada.

CloudBridge proporciona opciones de despliegue que ayudan a mejorar la experiencia del usuario, reducir el presupuesto de TI y los costos operativos al permitir el aprovisionamiento de recursos de red bajo demanda. Con sus capacidades de gestión de QoS, CloudBridge no es sólo una infraestructura

de controlador de optimización WAN (WOC) centrada en la red, sino que también admite la gestión de servicios para los usuarios.

Bajo el uso de la herramienta CloudBridge, las reglas de calidad de servicio (QoS), la selección de rutas y la configuración del tráfico se pueden aplicar para garantizar que las aplicaciones de alta prioridad siempre funcionen bien, también garantiza que el ancho de banda en todos los caminos se utiliza plenamente.

Es necesario tomar en cuenta algunos puntos fundamentales al optimizar un enlace WAN:

- Revisión de rutas de red en ambas direcciones.
- Asignación de prioridades a las aplicaciones.

Funcionalidades

Fluidez de las aplicaciones

CloudBridge permite a las TI de la empresa tomar decisiones de priorización para cada aplicación utilizando una clasificación de aplicaciones muy granular. Esto asegura que las aplicaciones de mayor prioridad siempre funcionen adecuadamente, recibiendo QoS apropiadas a su prioridad.

Rendimiento para aplicaciones de alta prioridad: selección de trayectoria con detección de latencia y duplicación de paquetes.

La solución CloudBridge utiliza varias técnicas para asegurar un rendimiento excelente y confiable para aplicaciones críticas de negocio, sin embargo su enfoque central se denomina selección de trayectoria con detección de latencia.

Esto significa realizar un equilibrio de carga inteligente dentro de una sesión de red para utilizar la ruta o rutas de acceso de WAN óptimas. Basándose en la información del "mapa" de enlaces de red disponibles, se

asigna una aplicación de alta prioridad a la vía WAN de latencia más baja (mejor rendimiento) disponible en ese momento. Si los requisitos de ancho de banda de la aplicación exceden el ancho de banda disponible en esa ruta, parte del tráfico de la aplicación se envía a través de la siguiente mejor ruta y, si es necesario, a través de una tercera o cuarta ruta.

Una mejora adicional es la técnica duplicación de paquetes. Pueden enviarse copias duplicadas de cada paquete a lo largo de diferentes rutas independientes. El paquete que llega al dispositivo de destino en primer lugar se utiliza y el segundo se descarta. Este enfoque utiliza un ancho de banda adicional, pero asegura el mayor rendimiento posible y la pérdida de paquetes cero, lo que es apropiado para aplicaciones como VoIP y videoconferencias donde un excelente rendimiento es esencial.

Configuración del tráfico y reserva dinámica de ancho de banda

La configuración del tráfico y la reserva dinámica de ancho de banda son técnicas adicionales para gestionar la calidad del servicio para diferentes clases de tráfico de aplicaciones. La solución CloudBridge ofrece cuatro tipos de servicio:

- Ruta virtual
Es la comunicación entre dos ubicaciones con dispositivos CloudBridge.
- Intranet
Comunicación entre la ubicación con un dispositivo CloudBridge y otra ubicación WAN corporativa que no tiene un dispositivo.
- Internet
Es la comunicación desde una ubicación con un dispositivo virtual WAN CloudBridge a destinos en la Internet pública.
- Pass-through
Es el tráfico que los administradores quieren transitar sin cambios a través de los dispositivos WAN virtuales de

CloudBridge, por ejemplo pings y solución de problemas de tráfico con la configuración del tráfico.

Se tiene la posibilidad de especificar un ancho de banda mínimo reservado para cada uno de estos cuatro servicios. Ninguno de los servicios jamás puede expulsar a los demás en un camino. También se especifica un "share" para cada servicio. Cuando dos o más servicios compiten por capacidad por encima del mínimo reservado, el ancho de banda se asigna entre ellos basándose en las cuotas relativas asignadas a cada uno.

Cuando un servicio excede su cuota de ancho de banda, el tráfico de baja prioridad dentro de ese servicio se pone en cola y se transmite cuando se dispone de capacidad disponible.

El servicio de ruta virtual (tráfico entre dos dispositivos WAN de CloudBridge) proporciona un tipo aún más sofisticado de configuración del tráfico que permite que el dispositivo de destino "compense" el dispositivo de origen. Es decir, el dispositivo de origen no sólo asigna ancho de banda entre los tipos de servicio, sino que también comprueba la carga en el dispositivo de destino. Si el dispositivo de destino no tiene capacidad disponible, el dispositivo de origen se detendrá en ese tráfico y utilizará el ancho de banda libre resultante para enviar paquetes en otro lugar. Esto permite un uso más eficiente del ancho de banda total.

La configuración del tráfico y la reserva de ancho de banda aseguran que siempre haya una cantidad adecuada de ancho de banda disponible para aplicaciones de alta prioridad (Citrix, Citrix Systems, 2015).

Failover y supervivencia

Failover y la supervivencia son elementos importantes de la virtualización WAN. CloudBridge etiqueta paquetes con números de secuencia y también con información sobre los paquetes a seguir. Esto permite que los dispositivos de destino detecten cortes de ruta después de sólo dos o tres paquetes

perdidos. La información sobre las interrupciones se comparte inmediatamente con todos los demás equipos de CloudBridge.

Debido a que estos dispositivos tienen visibilidad en todos los enlaces WAN, pueden re-dirigir inmediatamente el tráfico hacia las mejores rutas disponibles.

Otra ventaja de CloudBridge después del failover es que las aplicaciones no se degradan por igual. Por el contrario, las aplicaciones de alta prioridad reciben el mayor ancho de banda en las rutas, de modo que en la mayoría de los casos los usuarios de estas aplicaciones ni siquiera saben que se ha producido una interrupción de la red.

Finalmente, cuando se detecta una interrupción, los dispositivos de CloudBridge enviarán sondas frecuentes para determinar la integridad de la ruta de acceso fallida. Cuando el camino se vuelve a poner en línea, los equipos pueden reanudar su uso en menos de un segundo (Citrix, Citrix Systems, 2015).

2.3.3. Recursos utilizados

WANOS



Figura 6. Logo Wanos

Fuente: (Wanos Networks, 2015)

Wanos Wan Optimization son dispositivos de red que reducen los costos de tráfico de la red, aceleran las velocidades de la red y mejoran la calidad de la misma. El optimizador de red WAN maneja la eficiencia de la transferencia de datos mediante métodos como la compresión, deduplicación, calidad de

servicio y recuperación de pérdida de paquetes. Wanos está diseñado bajo los siguientes principios:

- Fácil de usar
- Simplicidad
- Indispensable

Requisitos mínimos de hardware

- Procesamiento → 2 cores
- Memoria Ram → 1 Mb
- Disco Duro → 64 Gb
- Interface → 10/100 Mb

Requisitos mínimos de Software

- Vmware → version 9.0 en adelante
- Paquete → OVA

CLOUDBRIDGE



Figura 7. Logo CloudBridge

Fuente: (Citrix, Citrix Systems, 2015)

Las empresas confían en sucursales o empleados remotos para servir a los clientes, a medida que las aplicaciones y la virtualización aumenta o las aplicaciones se mueven hacia la nube, los administradores de TI se enfrentan al desafío de proporcionar estas aplicaciones sin una penalización de

rendimiento a los usuarios de sucursales y móviles debido a la naturaleza de las redes WAN. CloudBridge ayuda a mejorar de manera efectiva y económica el rendimiento de la WAN, Cloudbridge es escalable, rentable y está listo para conectarse a la nube, al tiempo que garantiza un excelente provecho de las aplicaciones.

Requisitos mínimos de hardware

- Procesamiento → 2 cores
- Memoria Ram → 1 Mb
- Disco Duro → 64 Gb
- Interface → 10/100/1000 Mb

Requisitos mínimos de software

Vmware → versión 9.0 en adelante

Paquete → OVA

2.4. Modelos de Propagación

Modelo de propagación Longley-Rice

El modelo de Longley-Rice también es conocido como ITS (Irregular terrain model), se aplica a frecuencias entre los 20MHz hasta los 20GHz (no considera la propagación ionosférica por lo tanto no es usado con bajas frecuencias) y para longitudes de trayecto entre 1km y 2000km.

El modelo se basa en la teoría electromagnética y en análisis estadísticos de las características del terreno y mediciones de radio. Entrega como resultado el valor medio de la atenuación de la señal de radio como una función de la distancia y la variabilidad de la señal en el tiempo y espacio, permitiendo estimar las características de recepción de la señal necesarias en un radio enlace determinado sobre terreno irregular.

El modelo es capaz de operar en dos modalidades de trabajo: el modo de predicción de área y el modo punto a punto. El modo punto a punto es capaz de predecir estadísticamente las pérdidas de propagación sobre un trayecto de propagación determinado a partir de los datos característicos del radio y del entorno.

El modo de predicción de área opera de similar forma, sin embargo, no trabaja sobre un trayecto de propagación determinado, si no que genera una proyección del área de cobertura de un terminal dado en función de las características de cada terminal y las irregularidades del terreno (Escobar, 2013).

Modelo de propagación en Espacio Libre

El modelo de propagación en espacio libre se usa para predecir el nivel de potencia tomado en una ubicación específica, cuando no existe algún objeto cercano al enlace que puede afectar la propagación electromagnética. Esto es una condición mucho más estricta que la conocida línea-de-vista (line-of-sight, LOS) entre el transmisor (Tx) y receptor (Rx) que solo considera obstáculos en la línea que une ambos componentes del enlace. Un enlace puede ser LOS, pero ello no impide que objetos contiguos produzcan reflexiones que puedan afectar la señal que se propaga en el trayecto directo. El modelo de propagación de espacio libre es una buena referencia de comparación para enlaces más complejos y es además bastante exacto cuando el efecto de elementos cercanos no es significativo, como ocurre por ejemplo en los enlaces satelitales.

Algunos de los conceptos fundamentales que es necesario tomar en cuenta dentro de los modelos de propagación son los siguientes:

Desvanecimiento

Efecto debido a la disminución de potencia recibida con relación a su valor medio a largo plazo.

Zonas de Fresnel

Esta denominación se refiere al volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética y un receptor, de manera que el desfase de las ondas en el mencionado volumen no supere los 180° . Es así que la fase mínima se produce para el rayo que une en línea recta emisor y receptor. Al tomar el valor de la fase como cero, la primera zona de Fresnel abarca hasta que la fase llegue a 180° , adoptando así la forma de un elipsoide de revolución. La segunda zona abarca hasta un desfase de 360° , y es un segundo elipsoide que contiene al primero. De igual manera se obtienen las zonas superiores (Teleco, 2014).

Cuando se trata del caso de radiocomunicaciones depende del valor de K (curvatura de la tierra) considerando que para un $K=4/3$ la primera zona de fresnel debe estar despejada al 100% mientras que para un estudio con $K=2/3$ se debe tener despejado el 60% de la primera zona de Fresnel (Teleco, 2014).

Radio Mobile

Este software es una herramienta libre y de gran alcance, se encarga de calcular y predecir la propagación de ondas de radio, para esto utiliza el modelo de predicción de pérdidas de transmisión radioeléctrica en terreno irregular Longley-Rice, mencionado en el punto 2.4 Modelos de Propagación, adicionalmente traza el perfil de las posibles trayectorias. Permite el análisis y simulación de la propagación de ondas de radio sobre un terreno definido por algunos datos digitales de elevación y utiliza datos topográficos libres.

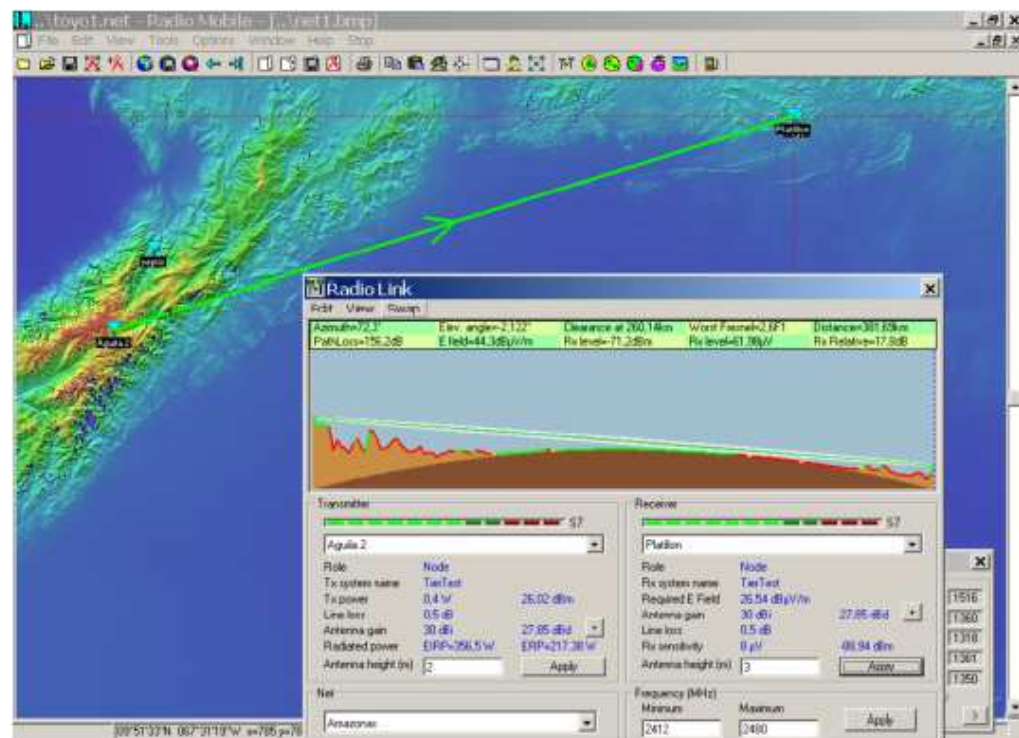


Figura 8. Radio Mobile

Parámetros importantes de Radio Mobile

- Coordenadas del sistema de telecomunicación.
- Altura de las antenas de los equipos.
- Ganancia de las antenas.
- Polarización de las antenas.
- Azimut.
- Frecuencia de trabajo mínima y máxima del equipo.
- Topología de la red (depende del tipo de enlace).
- Pérdidas en el espacio libre.
- Campo recibido en la antena receptora.
- PIRE (Potencia Isotrópicamente Radiada Equivalente).
- Zona de despeje adicional para que exista el enlace tomando como criterio despeje en 0.6F1 (primera zona de Fresnel).
- Sensibilidad del equipo receptor.
- Nivel de recepción del receptor.
- Pérdidas de línea (cable, conectores).
- Clima de la zona en donde se efectúa el enlace.

- Modo de variabilidad (depende del tipo de enlace).
- Refracción del terreno, conductividad del terreno y constante dieléctrica en donde se realiza el enlace
- Radio máximo de alcance de la antena (al calcular cobertura).

2.5. Políticas

Para llevar a cabo con éxito este proyecto de investigación se han configurado algunas políticas sobre distintos componentes de la red, por lo que las políticas actúan de manera independiente al recibir los paquetes LAN. A las políticas se las ha clasificado de la siguiente forma:

Políticas de Enrutamiento – Permiten identificar qué tráfico se va a optimizar, por el contrario también qué tráfico no se va a optimizar y qué tráfico se descartará.

Políticas de QoS – Permiten especificar prioridades del tráfico generado y cómo tratar los diferentes flujos de información de acuerdo a los criterios de coincidencia.

Políticas de Optimización – Permiten asignar una o varias técnicas de optimización a un flujo de información específico.

Políticas de Enrutamiento

Las políticas de enrutamiento están conformadas por entradas que se comparan con los flujos mediante criterios de coincidencia. Dentro de las políticas de enrutamiento, las acciones son las que determinan si un flujo va a ser o no optimizado. La única forma de optimizar el tráfico es dirigiendo los flujos requeridos hacia el túnel de optimización.

Las políticas de enrutamiento verifican el tráfico entrante con los criterios de coincidencia de forma secuencial. Como se puede observar en la Tabla 3, la entrada 20 coincide con el flujo, por lo que la política de enrutamiento aplica las acciones asociadas a la entrada correspondiente.

Tabla 3.
Política de Enrutamiento

Prioridad	Criterios de coincidencia		Acciones
10			
15			
20	192.168.1.0 = IP origen	192.168.3.0 = IP destino	allow
25			
Default			

Políticas de QoS

Cualquier optimizador de enlaces WAN no está completo si no se le aplica QoS, el adecuado uso de las políticas de QoS cerciora que el tráfico reciba el procedimiento apropiado sobre la WAN y permite asegurarnos que el ancho de banda se distribuya convenientemente cuando se trata de un tráfico mixto con distintos niveles de prioridad. Si el enlace WAN está diseñado correctamente, QoS se debe gestionar en cada punto que sea considerado como “cuello de botella”.

La principal intención de aplicar políticas de QoS sobre un enlace WAN es para optimizar su rendimiento en caso de existir falencias de red conocidas y en situaciones en que la demanda supere el ancho de banda del enlace, brindar la prioridad correspondiente a flujos sensibles de acuerdo a los criterios de coincidencia.

A continuación se describe brevemente el procedimiento que soportan las políticas de QoS:

- Clasificación

En este primer paso, es necesario identificar el tráfico de interés. Para ello, se crean reglas de política de tráfico basadas en los criterios de coincidencia. Como se muestra en la Tabla 4 la regla 3 coincide con todo el tráfico de voz que se identifica con la subred de origen: 192.168.1.0/24. La regla 5 clasifica todo el tráfico SMTP que coincide con el puerto TCP 25.

Tabla 4.
Políticas de QoS - Clasificación

Prioridad	Criterios de coincidencia		Puerto
1			
3	192.168.1.0/24 = IP origen	192.168.3.0/24 = IP destino	UDP
5	192.168.1.0/24 = IP origen	192.168.3.0/24 = IP destino	Src tcp port 25
10	192.168.1.0/24 = IP origen	192.168.3.0/24 = IP destino	TCP
Default			

- Marcado

La marcación del tráfico es opcional, los valores DSCP se utilizan para marcar el tráfico, también son utilizados por los routers para realizar una acción configurada. En la Tabla 5 se puede observar la red de voz está marcada con el valor DSCP EF y el tráfico SMTP está marcado con el valor DSCP AF13.

Tabla 5.
Políticas de QoS - Marcación

Prioridad	Criterios de coincidencia		Puerto	DSCP
1				
3	192.168.1.0/24 = IP origen	192.168.3.0/24 = IP destino	udp	EF
5	192.168.1.0/24 = IP origen	192.168.3.0/24 = IP destino	src tcp port 25	AF13
10	192.168.1.0/24 = IP origen	192.168.3.0/24 = IP destino	tcp	
Default				

- Código de Servicios Diferenciados (DSCP)

Los códigos de servicios diferenciados proveen un método que permite garantizar la calidad de servicio basado en el manejo del tráfico con respecto a prioridades del campo ToS (tipo de servicio), está definido en RFC 2474 (Nichols, Blake, Baker, & Black, 1998) y en RFC 2475 (Blake, y otros, 1998).

Este método aumenta el número de prioridad definido al reasignar los bits de un paquete IP para que tengan un marcado prioritario.

RFC 2474 recomienda la combinación para la transmisión de paquetes *best effort* y *class selector*. El mecanismo de *best effort* (mejor esfuerzo) no garantiza que los datos lleguen a su destino, es decir, no se ofrece al usuario una determinada calidad de servicio; mientras que *class selector* (selector de clase) ofrece 7 niveles de prioridad para los paquetes de acuerdo con los 3 bits más significativos del octeto.

RFC 2597 recomienda las combinaciones a utilizar para *assured forwarding* (envío asegurado) que contiene dos funciones de QoS independientes, la primera es *queueing* (encolamiento), y la segunda define *congestión avoidance* (control de congestión). *Assured forwarding* (AF) no garantiza que cada paquete sea entregado y tampoco reserva ningún ancho de banda mínimo para cada clase (RFC2597, 1999).

RFC 3246 recomienda la combinación para *expedited forwarding* (envío acelerado), que también sugiere dos funciones de QoS. La primera es *queueing* (encolamiento), que debe ser utilizado para minimizar el tiempo que un paquete pasa por una cola y la segunda es la *vigilancia* (*policing*). La función de EF es proveer las herramientas necesarias para asegurar un servicio de extremo a extremo con bajas pérdidas, reducción del retardo y *jitter*, y un ancho de banda (RFC3246, 2002).

En la Tabla 6 se puede observar los códigos DSCP disponibles:

Tabla 6.
Códigos DSCP

Marca DSCP	Nombre	Código	Número
be	Best Efford	000000	DSCP 0
af11	Assured Forwarding 11	001010	DSCP 10
af12	Assured Forwarding 12	001100	DSCP 12
af13	Assured Forwarding 13	001110	DSCP 14
af21	Assured Forwarding 21	010010	DSCP 18
af22	Assured Forwarding 22	010100	DSCP 20
af23	Assured Forwarding 23	010110	DSCP 22
af31	Assured Forwarding 31	011010	DSCP 26
af32	Assured Forwarding 32	011100	DSCP 28
af33	Assured Forwarding 33	011110	DSCP 30
af41	Assured Forwarding 41	100010	DSCP 34
af42	Assured Forwarding 42	100100	DSCP 36
af43	Assured Forwarding 43	100110	DSCP 38
cs1	Class Selector 1	001000	CS1
cs2	Class Selector 2	010000	CS2
cs3	Class Selector 3	011000	CS3
cs4	Class Selector 4	100000	CS4
cs5	Class Selector 5	101000	CS5
cs6	Class Selector 6	110000	CS6
cs7	Class Selector 7	111000	CS7
ef	Expedited Forwarding	101110	DSCP 46

Fuente: (Santos Logroño, 2014)

Políticas de Optimización

Las políticas de optimización manejan distintos métodos para mejorar el rendimiento de las aplicaciones que circulan por medio de la WAN. Cuando se encuentra una coincidencia, las acciones definen cual o cuales de los métodos se aplican al flujo de información para lograr una mejora en el rendimiento de la aplicación o protocolo.

Una vez que el flujo haya pasado por la política de QoS, la política de optimización le indica al equipo WOC (control optimizador de WAN) los diferentes métodos de optimización que se pueden aplicar, así el dispositivo optimizador retiene y pone en cola el flujo de información optimizado que va a salir de la interfaz física hacia la WAN.

Existe diversidad de métodos de optimización, no todos están disponibles en los equipos WOC, depende del fabricante, sin embargo los métodos más comunes de aceleración incluyen mejoras a nivel TCP, compresión, deduplicación, catching y optimización de ciertos protocolos de aplicación.

2.5.1. Criterios de Coincidencia

Dentro de la política, el equipo optimizador de enlaces WAN busca de forma secuencial la primera coincidencia, y cuando la encuentra realiza la acción correspondiente. Si no existen parámetros configurados por el usuario que coincidan con la búsqueda, entonces no aplica la optimización para el flujo que se está analizando.

Los criterios de coincidencia se basan en la combinación de una o más de las siguientes características de cada uno de los paquetes generados:

- Protocolo
- Dirección IP de origen
- Dirección IP de destino
- Puerto de origen
- Puerto de destino

2.6. Implementaciones más frecuentes

Las herramientas optimizadoras pueden ser instaladas de dos maneras, en modo bridge que se lo despliega entre el switch de la LAN y el extremo del router del proveedor de servicios y el modo router que se lo implementa fuera de la línea de ruta de acceso al enrutador del proveedor.

Modo Bridge

Al modo bridge también se lo conoce como implementación en línea, el equipo optimizador se implanta en el segmento asignado entre el switch de core de la LAN y el router del proveedor de servicios para conectarse a la WAN, tal como se puede observar en la Figura 9.

El equipo captura los paquetes destinados a la WAN, para de acuerdo a las políticas establecidas, los flujos específicos se dirigen al túnel formado entre las herramientas optimizadoras y así reciben el tratamiento pertinente de optimización, el resto de tráfico no sufre alteraciones.

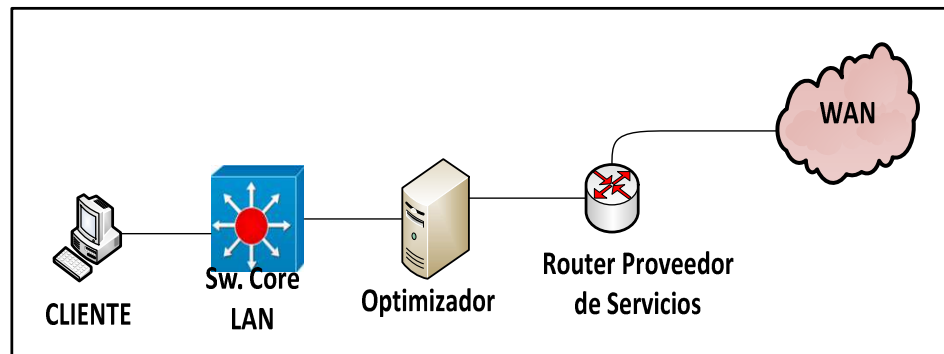


Figura 9. Modo Bridge

Suponiendo la situación en que el equipo optimizador padezca algún tipo de falla, el equipo simplemente se comportaría como un cable de conexión desde el switch de core hacia el router del proveedor de servicios, y los flujos de información continúan su trayecto.

Modo Router

El modo router es conocido también como implementación fuera de línea, como se puede apreciar la Figura 10 en este tipo de despliegue la herramienta optimizadora requiere el uso de alguna técnica que permita re-direccionar el tráfico para reenviar los paquetes hacia el sistema optimizador.

El dispositivo WOC para el caso, captura solamente los paquetes que sean dirigidos por el enrutador WAN hacia el equipo optimizador, donde se aplica el proceso de optimización de acuerdo a las políticas definidas, el resto del tráfico pasa por medio del equipo sin alteraciones y se regresa al router del proveedor de servicios y éste lo transmite hacia la WAN.

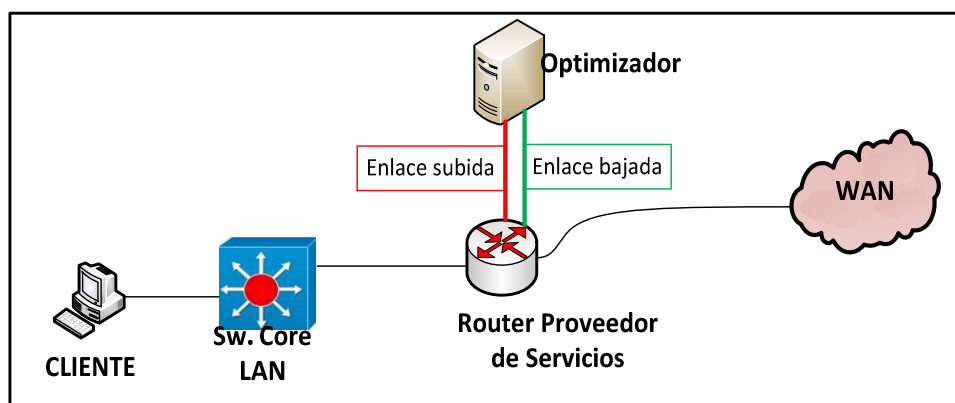


Figura 10. Modo Router

Si por algún motivo el equipo optimizador sufre fallas, el equipo se comportaría como un puerto abierto, sin perturbar al enlace. El router del proveedor de servicios reconocerá que el enlace se encuentra caído y enviará los paquetes como tráfico normal, es decir de acuerdo a sus tablas de enrutamiento.

2.7. Parámetros de Transmisión y Recepción

- Radwin 2000

La unidad de RADWIN 2000 ofrece productos inalámbricos de banda ancha en banda licenciada y en banda libre, entregan un rendimiento agregado de hasta 200 Mbps, soportando las bandas de 2,3 GHz, 2,4 GHz, 3,4-3,7 GHz y 4,8-6,0 GHz. La solución es compacta y robusta, provee TDM nativo (hasta 16 E1s/T1s) + Ethernet, facilitando a los operadores una migración sin interrupciones de redes TDM hacia redes totalmente IP.

Las radios RADWIN 2000 soportan múltiples bandas en la misma plataforma, brindando a los operadores la flexibilidad de seleccionar la banda óptima para transmisión. Los sistemas incorporan tecnologías de punta, incluyendo MIMO y OFDM.

Los radios RADWIN 2000 son usualmente desplegados en una topología punto a punto, sin embargo también se los utiliza en topologías múltiple punto a punto, donde pueden instalarse hasta 16 radios en un solo sitio, usando la

unidad de sincronización HSS (Hub Site Synchronization) de RADWIN. Adicionalmente, se puede usar la unidad de sincronización basada en GPS (GSU – GPS-based Synchronization Unit) de RADWIN para eliminar la interferencia entre sitios en despliegues de alta densidad (Radwin, 2016).



Figura 11. Radwin 2000

Fuente: (Radwin, 2016)

Características relevantes de Radwin 2000

- Rendimiento neto de hasta 200 Mbps.
- TDM nativo hasta 16 E1s/T1s + Ethernet.
- Largo alcance – hasta 120 km (75 millas).
- Incorpora tecnologías MIMO y OFDM.
- Radio multibanda.
- Solución robusta – los sistemas operan en nLOS, alta interferencia y climas extremos.



Figura 12. Transmisión MIMO

Fuente: (Radwin, 2016)

Cada equipo Radwin 2000 incluye un componente ODU, la unidad de radio en sí, está definida por la frecuencia de sintonización y la sub-banda de trabajo dentro de dicha frecuencia, y un componente IDU, éste último es un módem que conecta la radio con el backbone de la red. De acuerdo a las necesidades puede ofrecer interfaces Ethernet, TDM, entre otras.

ODU

- Integra antena de doble polarización.
- Conexiones punto – punto o multipunto – punto.



Figura 13. ODU Radwin

Fuente: (Radwin, 2016)

IDU

- Soporta Ethernet y TDM.
- 19" 1 UR.
- Soporta dispositivos POE.



Figura 14. IDU Radwin

Fuente: (Radwin, 2016)

Tabla 7.
Especificaciones técnicas IDUs y ODUs Radwin

Configuration		
Architecture	Outdoor Unit with Integrated Antenna	
IDU to ODU Interface	Outdoor CAT-5e cable; Maximum cable length: 100 m	
Radio		
Capacity	Up to 16 E1s/T1s and 10 Mbps full-duplex Ethernet net throughput	
Range	Up to 120 km / 75 miles	
Channel Bandwidth	20 MHz	
Modulation	2x2 MIMO-OFDM (BPSK/QPSK/16QAM/64QAM)	
Adaptive Modulation & Coding	Supported	
Automatic Channel Selection	Supported	
Diversity	Supported	
Spectrum View	Supported	
Max Tx Power	25 dBm	
Duplex Technology	TDD	
Error Correction	FEC k = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6	
Encryption	AES 128	
Supported Indoor Units	IDU-C Series (RW-72XX-2000)	
Hub Site Synchronization (HSS)	Up to 16 collocated links (RADWIN 2000 and/or WinLink 1000)	
Monitored Hot Standby (MHS)	1+1 with RADWIN 2000 link or WinLink 1000 link	
Supported Bands		
Band	Occupied Frequency Range	Radio Compliance
5.8 GHz WPC India	5.825 - 5.875 GHz	WPC GSR-38
Mechanical		
Dimensions	37.1[w] x 37.1[h] x 11.0[d] cm	
Weight	3.5 kg / 7 lbs	
Power		
Power Feeding	Power provided over ODU-IDU cable	
Power Consumption	<35W (IDU + ODU)	
Environmental		
Operating Temperatures	-35°C - 60°C / -31°F - 140°F	
Humidity	100% condensing, IP67 (totally protected against dust and against immersion up to 1m)	
Safety		
FCC/IC (cTUVus)	UL 60950-1, UL 60950-22, CAN/CSA C22.2 60950-1, CAN/CSA C22.2 60950-22	
ETSI	EN/IEC 60950-1, EN/IEC 60950-22	
EMC		
FCC	CFR47 Class B, Part15, Subpart B	
ETSI	EN 300 386, EN 301 489-1, EN 301 489-4	
CAN/CSA-CEI/IEC	CISPR 22-04 Class B	
AS/NZS	CISPR 22-2004 Class B	

Fuente: (Radwin, 2016)

Tabla 8.
Especificaciones técnicas Antena Integrada Radwin

Integrated Antenna	
Minimum Peak Gain	22.5 dBi \pm 0.5 @ 5.15-5.25 GHz 23 dBi \pm 0.5 @ 5.25-5.875 GHz
VSWR	1.5 : 1 (typ) 1.7 : 1 (max)
3 dB Beamwidth	9° (typ)
AZ & EL Beam Squint	\pm 2° Part V & Part H
Polarization	Dual Linear (Vertical and Horizontal)
Sidelobes Level	ETSI EN 302 085 V1.1.2, TS1-TS3
Cross Polarization	ETSI EN 302 085 V1.1.2, TS1-TS3
F/B Ratio	-35 dB (max)
Port To Port Isolation	40 dB (min)
Lightning Protection	DC grounded

Fuente: (Radwin, 2016)

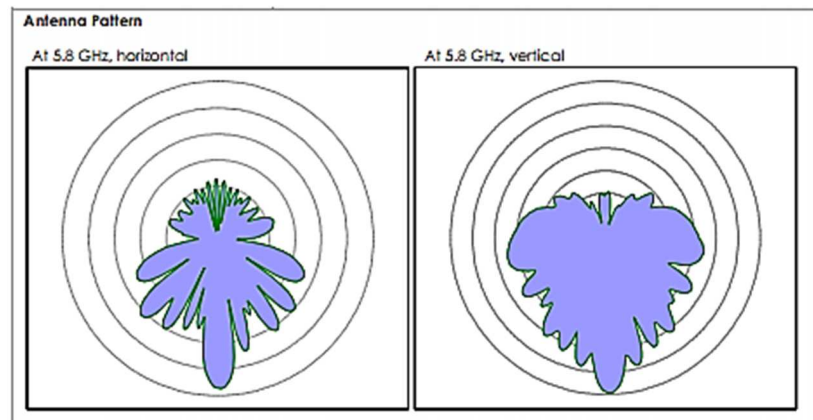


Figura 15. Patrón de radiación de la Antena

Fuente: (Radwin, 2016)

CAPÍTULO 3

ESCENARIO DE PRUEBAS E IMPLEMENTACIÓN

El escenario topológico inicial que se utilizó como referencia para realizar las pruebas de optimización sobre un enlace WAN se puede observar en la Figura 16, el mismo funciona de manera efectiva dentro de nuestra sociedad y las pruebas se las realizó internamente en su ambiente de producción en tiempo real.

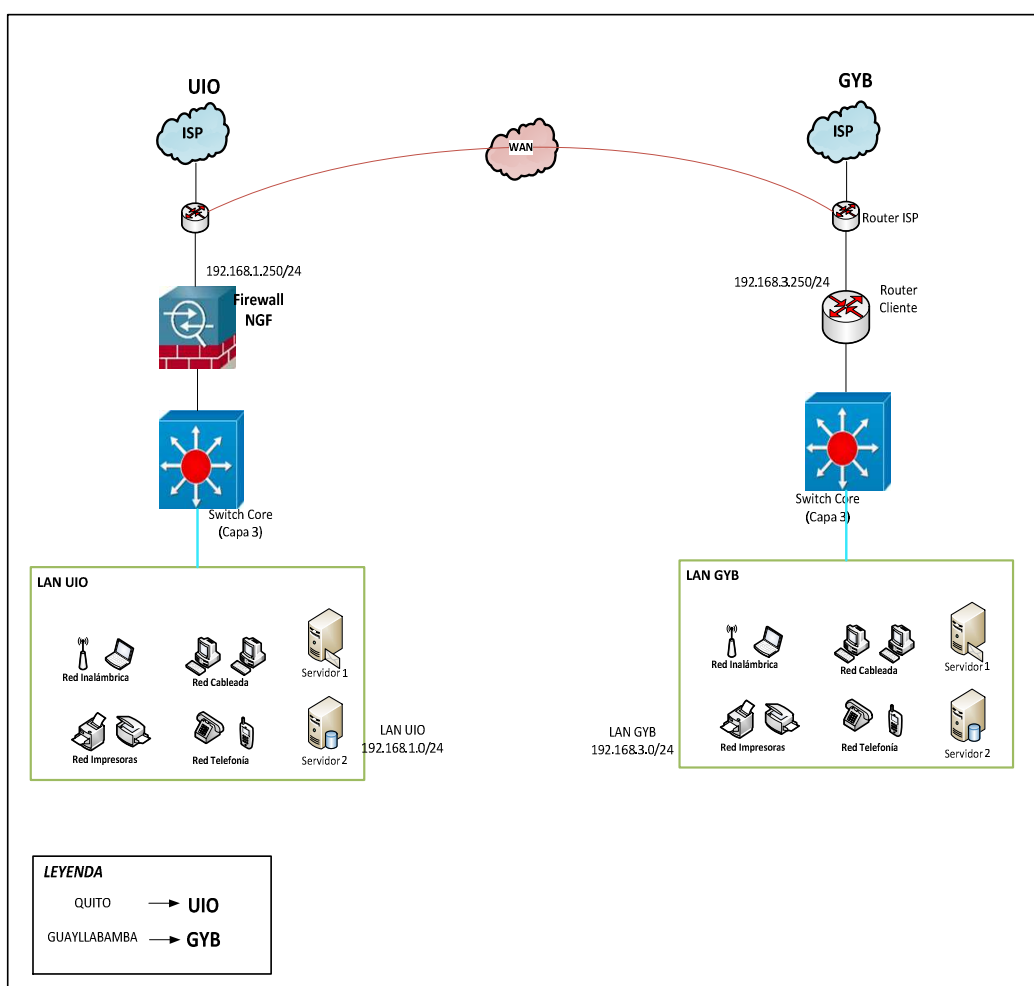


Figura 16. Diagrama topológico - Escenario inicial de pruebas

3.1. Entorno de Trabajo

Se ha logrado obtener algunos datos de interés como los componentes y las coordenadas de los sitios donde se encuentra establecido el radio enlace que sirvió como escenario de pruebas para el presente trabajo de investigación, se utilizó información para realizar la simulación bajo la herramienta Radio Mobile y así obtener el análisis del mencionado enlace.

Ubicación de torres

Gracias a la herramienta gratuita Google Earth, en la Figura 17 se puede observar la distribución establecida de las torres que conforman el radio enlace utilizado como escenario de pruebas.

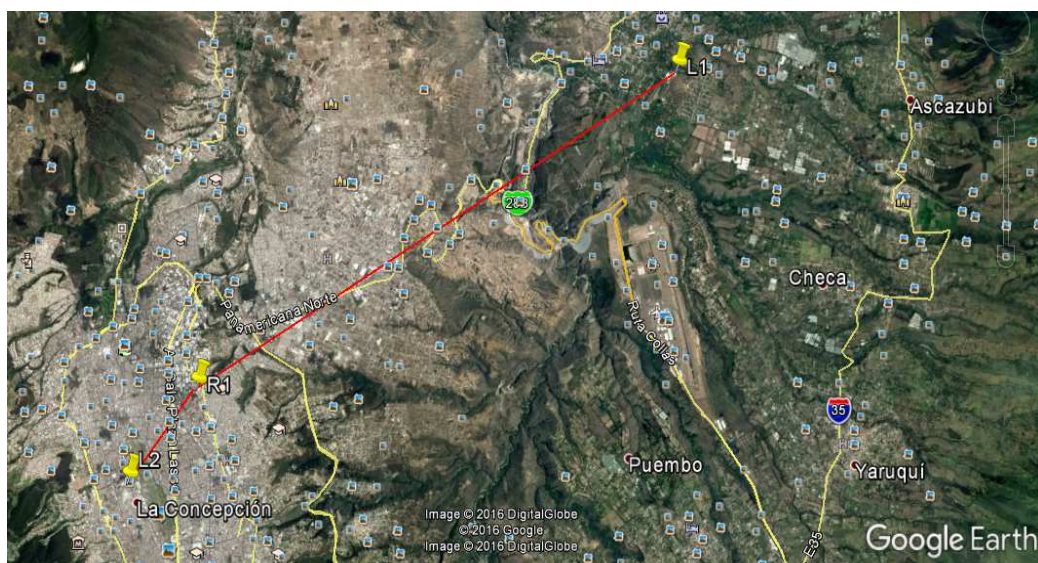


Figura 17. Mapa ubicación de torres

A continuación se detalla la situación geográfica (latitud y longitud) de las torres pertenecientes al radio enlace.

Tabla 9.
Coordenadas de los sitios de trabajo

NOMBRE DEL REPETIDOR	UBICACIÓN GEOGRAFICA	
	LATITUD	LONGITUD
Sucursal Norte	0°09'36,0"S	78°29'38.2"W
Sucursal Guayllabamba	0°04'25,8"S	78°20'49,1"W
Repetidor Collaloma	0°07'13,11''S	78°28'25,8"W

- **Configuración Radio Mobile**

En la Figura 18 se muestran los parámetros colocados en la herramienta Radio Mobile, cabe recalcar que son datos lo más cercanos a la realidad posible.

Nombre de la red (Sistema Superior).

Colocamos la frecuencia de trabajo del enlace (5.740 – 5.835 GHz).

La polarización de las antenas (Horizontal- Vertical).

El modelo estadístico intento (70% del resto de situaciones).

El clima del lugar donde se encuentra el radio enlace.

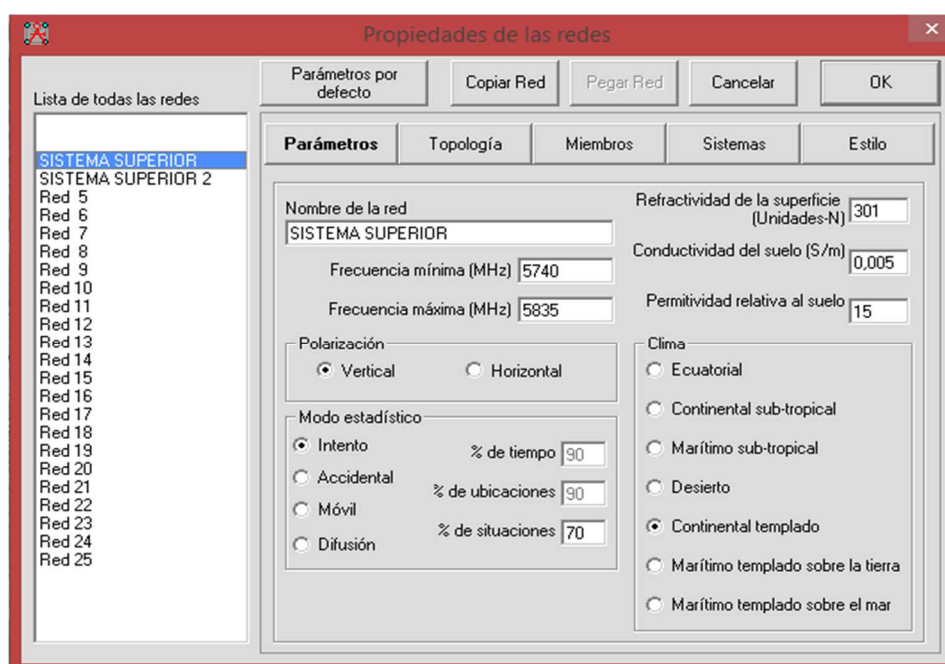


Figura 18. Parámetros – Radio Mobile

- **Topología en Radio Mobile**

En la Figura 19 se puede observar la sección Topología, donde se define el tipo de red que se está analizando, para este caso es red de datos.

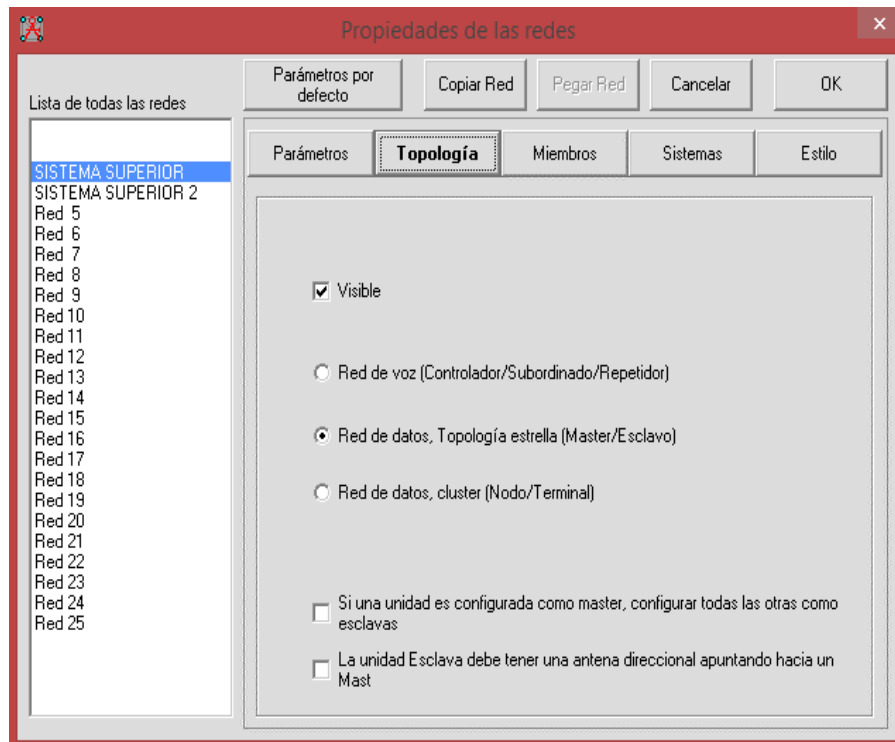


Figura 19. Topología – Radio Mobile

- **Miembros - Radio Mobile**

Como se puede observar en las figuras 20 y 21 el apartado Miembros de la herramienta radio mobile requiere la asignación de las unidades (sitios) parte del enlace, donde se formaron vínculos para crear los sistemas que conforman el enlace en sí.

L1 = Sucursal Guayllabamba

L2 = Sucursal Norte

R1 = Repetidor

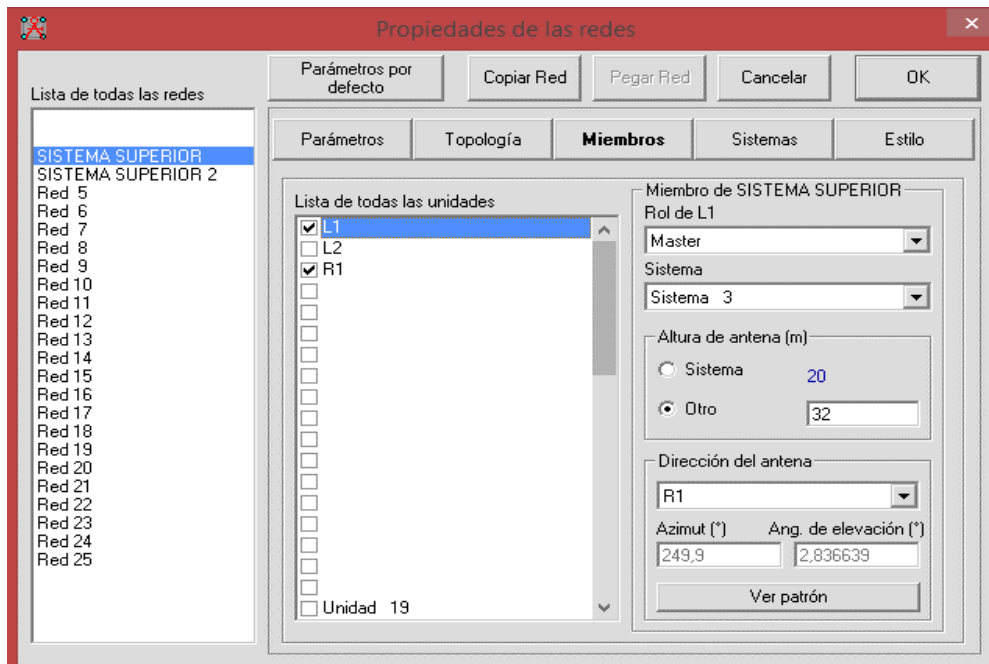


Figura 20. Miembros – Sistema Superior

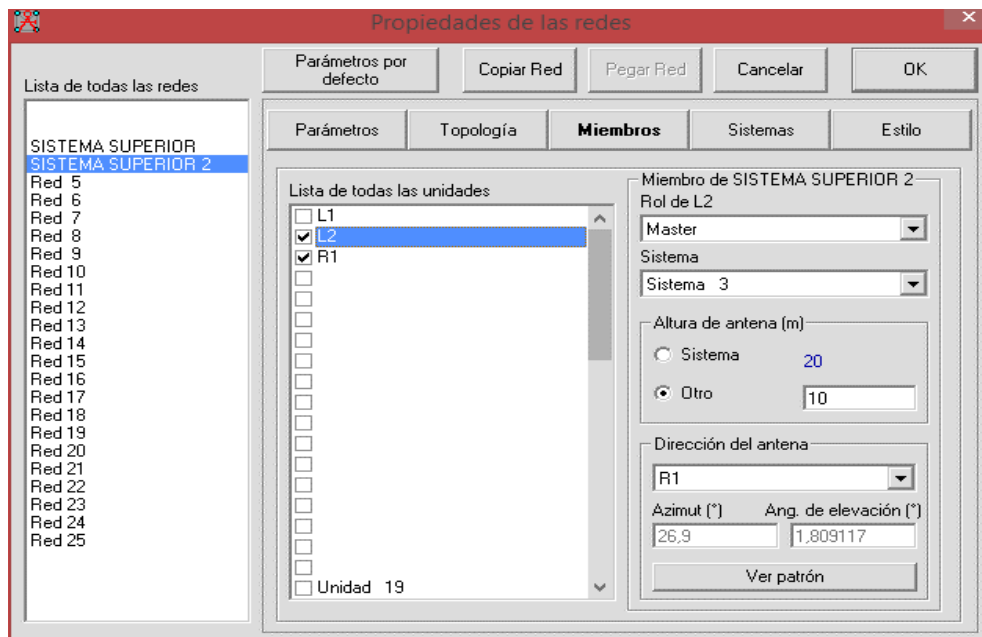


Figura 21. Miembros – Sistema Superior2

- **Sistemas – Radio Mobile**

Se puede observar en la Figura 22 la sección Sistemas de la herramienta Radio Mobile, donde se requiere ingresar algunas características como:

Las potencias de los transmisores.

Las pérdidas de línea, se considera todo lo que es cable, conectores.

El tipo de antena con su respectiva ganancia.

Las alturas de las antenas del radio enlace.

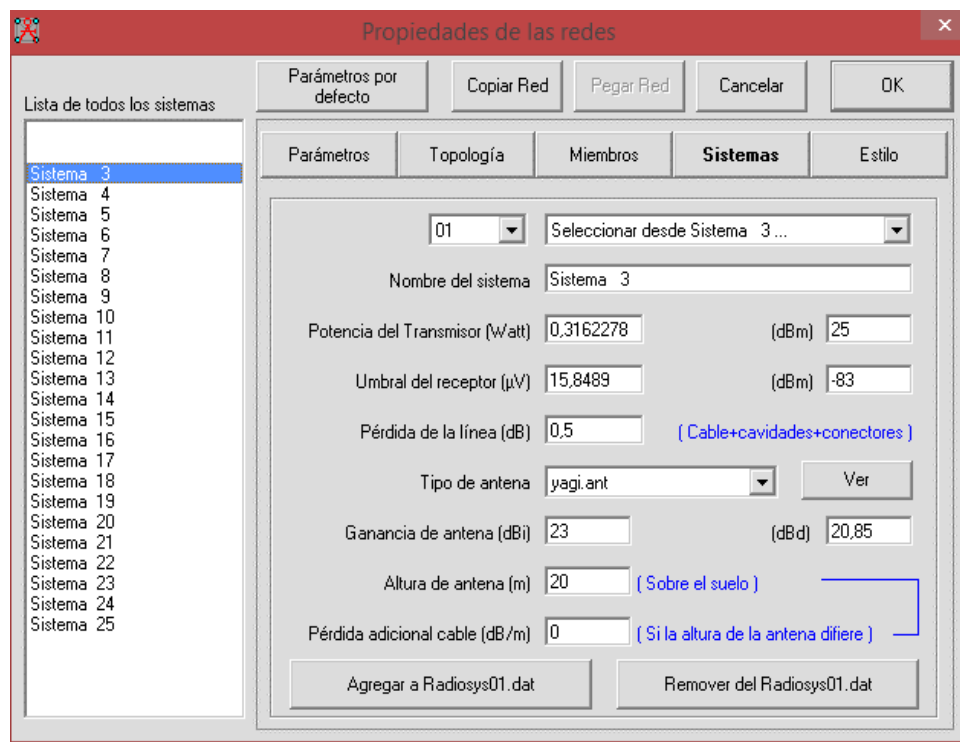


Figura 22. Sistemas – Radio Mobile

Después que se ha ingresado toda la información necesaria para realizar la simulación, en la Figura 23 se puede observar el resultado obtenido del enlace.

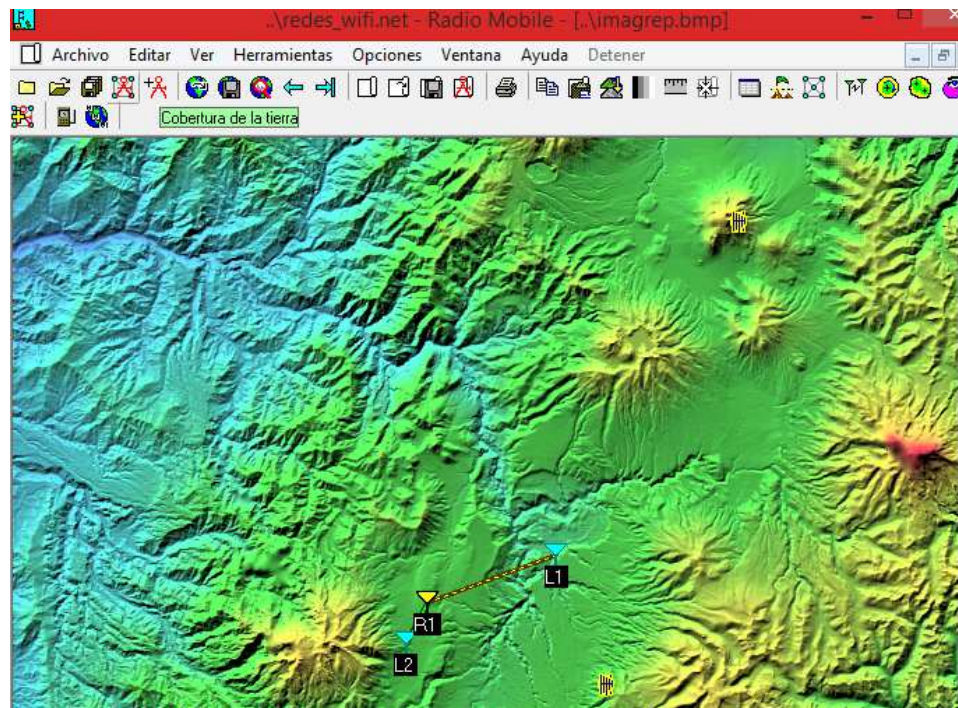


Figura 23. Resultado Enlace - Radio Mobile

A continuación se detallan los resultados obtenidos por la herramienta Radio Mobile en cada uno de los sistemas que conforman el enlace utilizado como escenario de pruebas y los cálculos necesarios para realizar el análisis.

Sucursal Guayllabamba – Repetidor Collaloma

En la Figura 24 se puede observar el resultado arrojado por Radio Mobile con respecto al enlace existente entre la sede Guayllabamba hacia el repetidor Collaloma.

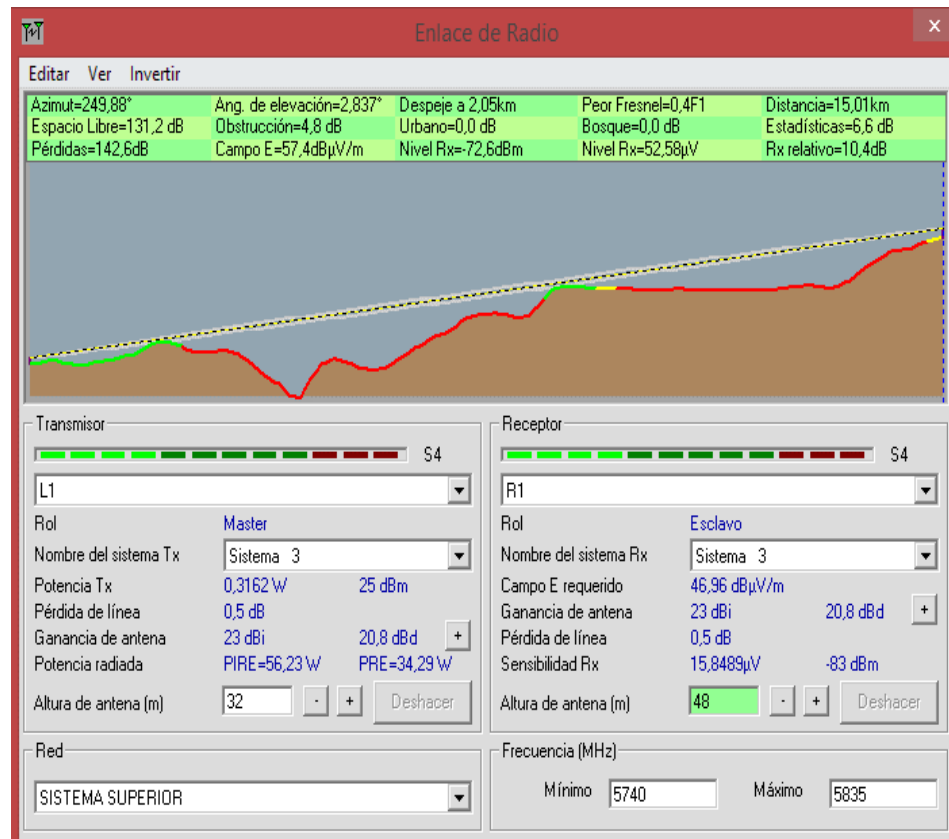


Figura 24. Sucursal Guayllabamba – Repetidor Collaloma

Datos del simulador

$$A_{EL}(dB) = 131.2 (dB)$$

$$L_T = 142.6 (dB)$$

$$d_{T1} = 15.01 (Km)$$

$$R_{x1} = -72,6 (dBm)$$

Atenuación en el espacio libre (Ecuación de Friss)

$$L_b = 32.5 + 20 \log(d_{km}) + 20 \log(f_{Mhz})$$

$$L_b = 32.5 + 20 \log(15.01) + 20 \log(5820)$$

$$L_b = 131.32 (dB)$$

Potencia de Recepción (Prx)

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_T$$

$$P_{Rx} = 25(dBm) + 23(dBi) + 23(dBi) - 142,6(dB)$$

$$P_{Rx} = -71,6 (dBm)$$

El valor de la sensibilidad del equipo es de -83 dBm y de nuestro receptor es de -71.6 dBm, como la potencia de recepción es mayor a la sensibilidad del equipo, nos asegura que si existe comunicación a través del radioenlace.

Probabilidad de desvanecimiento (Mojoli)

$$P_o = 0.3 * a * b * \left(\frac{f(Ghz)}{4}\right) \left(\frac{d(Km)}{50}\right)^3$$

$$a = 1 \text{ (En climas Templados)}$$

$$b = \left(\frac{s}{15}\right)^{-\frac{1}{3}} = \left(\frac{40}{15}\right)^{-\frac{1}{3}} = 0.721125$$

$$s = 40 \text{ (En climas Templados)}$$

$$P_o = 0.3 * 1 * 0.721125 * \left(\frac{5.820}{4}\right) \left(\frac{15.01}{50}\right)^3 = 0.00851583$$

$$n = 1 - e^{-0.2 * P_o^{0.75}}$$

$$n = 0.005590$$

Durante la época más desfavorable se presenta un desvanecimiento del 0.55% a la frecuencia de 5820 [Mhz].

Repetidor Collaloma – Sucursal Norte

En la Figura 25 se puede apreciar la imagen arrojada por Radio Mobile, mostrando el enlace desde el repetidor de Collaloma y la sede Norte en Quito.

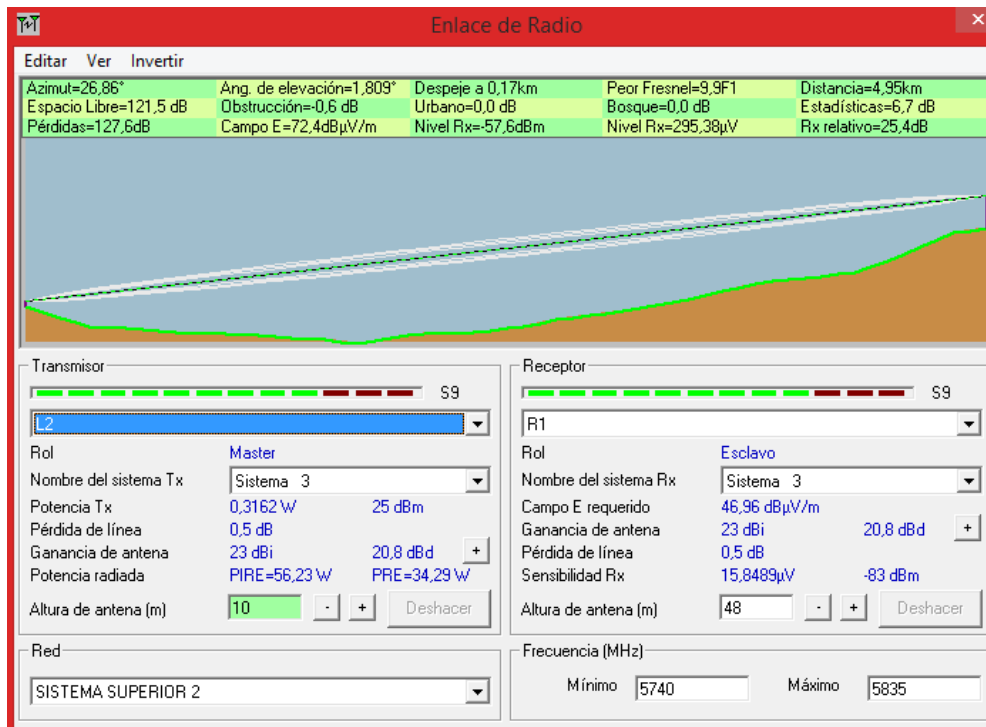


Figura 25. Repetidor Collaloma – Sucursal norte

Datos del simulador

$$A_{EL}(dB) = 121.5 (dB)$$

$$L_T = 127.6(dB)$$

$$d_{T1} = 4.95 (Km)$$

$$R_{x1} = -57.6 (dBm)$$

Atenuación en el espacio libre (Ecuación de Friss)

$$L_b = 32.5 + 20 \log(d_{Km}) + 20 \log(f_{Mhz})$$

$$L_b = 32.5 + 20 \log(4.95) + 20 \log(5820)$$

$$L_b = 121,69 (dB)$$

Potencia de Recepción (Prx)

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_T$$

$$P_{Rx} = 25(dBm) + 23(dBi) + 23(dBi) - 127,6(dB)$$

$$P_{Rx} = -56,6 (dBm)$$

El valor de la sensibilidad del equipo es de -83 dBm y de nuestro receptor es de -56.6 dBm, como la potencia de recepción es mayor a la sensibilidad del equipo, nos garantiza que si existe comunicación a través del radioenlace.

Probabilidad de desvanecimiento (Mojoli)

$$P_o = 0.3 * a * b * \left(\frac{f(\text{Ghz})}{4}\right) \left(\frac{d(\text{Km})}{50}\right)^3$$

$$a = 1 \text{ (En climas Templados)}$$

$$b = \left(\frac{s}{15}\right)^{-\frac{1}{3}} = \left(\frac{40}{15}\right)^{-\frac{1}{3}} = 0.721125$$

$$s = 40 \text{ (En climas Templados)}$$

$$P_o = 0.3 * 1 * 0.721125 * \left(\frac{5.820}{4}\right) \left(\frac{15.01}{50}\right)^3 = 0.00030542$$

$$n = 1 - e^{-0.2 * P_o^{0.75}}$$

$$n = 0.00046$$

Durante la época más desfavorable se presenta un desvanecimiento del 0.046% a la frecuencia de 5820 [MHz].

3.1.1. Parámetros Iniciales de Transmisión

Para exponer de manera clara el tiempo de transmisión al trasladar un archivo desde el sitio origen hasta el sitio destino, se ha levantado un cliente y servidor FTP, por donde se envió un archivo antes de habilitar la herramienta optimizadora.

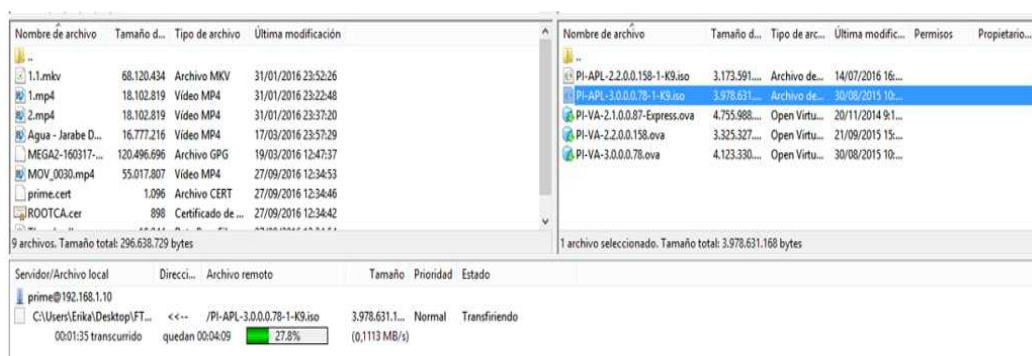


Figura 26. FTP – Transferencia Inicial

En la Figura 26 se observa como está transmitiéndose la información que se utilizó para las pruebas, con el objetivo de verificar el tiempo que tarda en llegar el flujo de información de aproximadamente 3Gb desde su origen hacia su destino.

Después de haber realizado la transmisión de varios flujos de información desde la sede Quito (UIO) hacia la sede Guayllabamba (GYB), en la Tabla 10 se muestra información relevante que se obtuvo antes de activar las herramientas optimizadoras.

Tabla 10.
Datos de Transferencia Inicial

Velocidad	0,1113 MB/sec
Tiempo Tx	5,44 minutos
Throughput	890,4 Kbps

3.2. Implementación

En la presente sección se describe las configuraciones o modificaciones realizadas dentro de la infraestructura de red utilizada como escenario de pruebas para la optimización del enlace WWAN.

Una vez que se han ubicado los equipos optimizadores dentro de la infraestructura de red del cliente, en la Figura 27 se puede apreciar cómo

queda el diagrama topológico final donde se realizaron las pruebas de optimización.

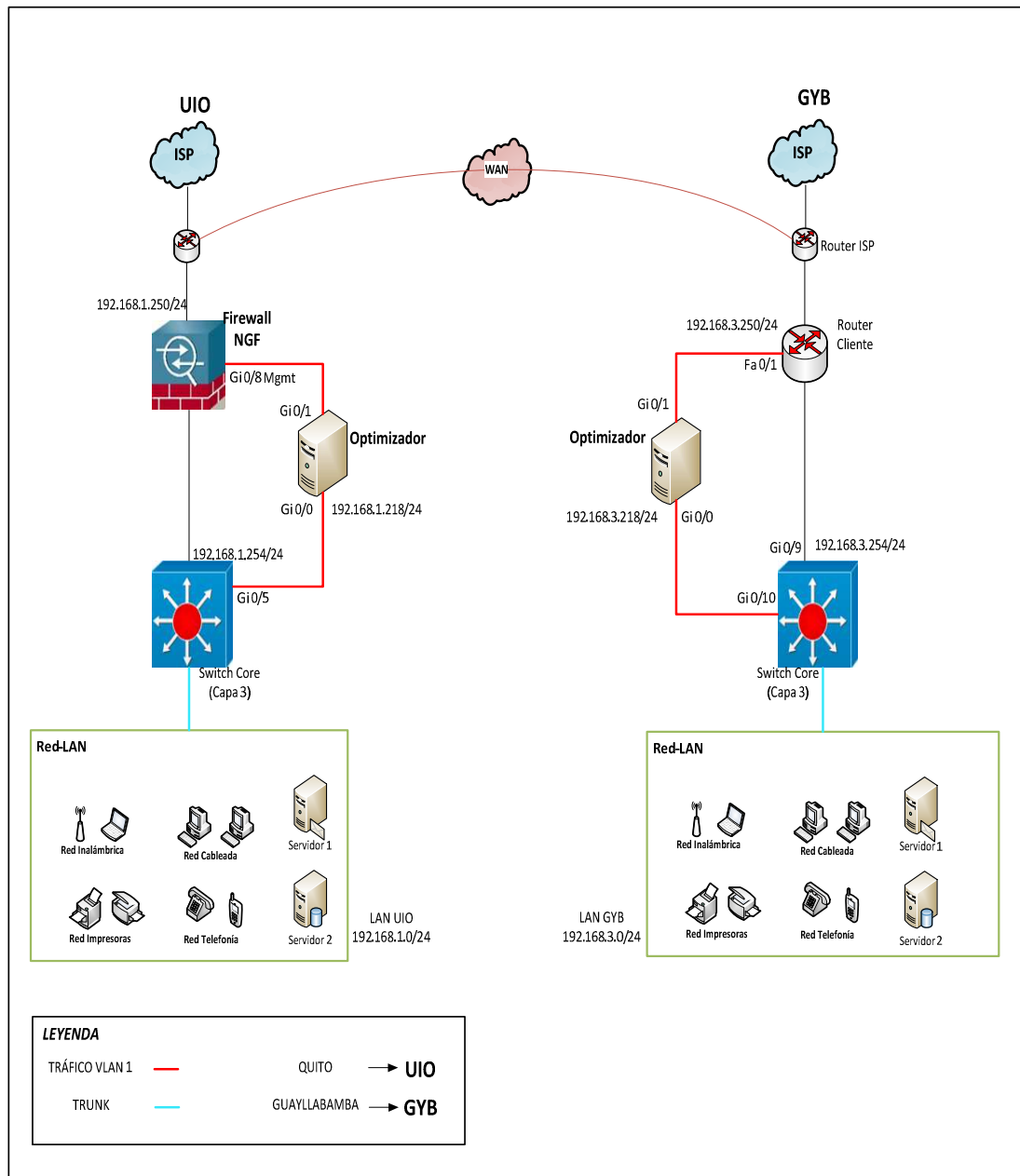


Figura 27. Diagrama topológico final del escenario de pruebas

Como se muestra en la Figura 27, la conexión del equipo optimizador del enlace WAN en la sede UIO se encuentra entre el firewall de seguridad NGF y el switch de core. Para ubicar en este sitio el equipo optimizador, se han tomado en cuenta algunos criterios que se exponen en la parte inferior.

- a. En el extremo UIO el firewall de seguridad NGF es el primer equipo de propiedad del cliente, es decir es un componente al cual podemos tener acceso, bajo la autorización correspondiente, para realizar ciertas actividades como modificación de configuraciones, políticas o utilización de puertos de acuerdo a nuestra conveniencia.
- b. Otro de los criterios que se ha considerado es que al pasar la información mediante el equipo de seguridad perimetral, dicha información al transmitirse por medio de la WAN ya será discriminada, los datos seguros de los datos con posible contenido de código malicioso. Por esta razón la cantidad de datos será menor y por ende la optimización más eficiente y rápida.

En la misma Figura 27 se observa la conexión del equipo optimizador de enlace WAN dentro de la sede Guayllabamba, se encuentra entre el router del cliente y el switch de core, para realizar ésta implementación al igual que para la sede en UIO se han considerado varios parámetros.

- a. El primer componente de propiedad del cliente en la sede Guayllabamba es el Router Cliente, bajo la autorización necesaria se logra conseguir el acceso a varias acciones dentro de éste, como por ejemplo modificaciones en sus configuraciones o disponibilidad de puertos.
- b. Por otro lado, al igual que en la sede UIO, el hecho de conectarse al switch de core permite tener la capacidad de seleccionar directamente qué tráfico específico proveniente de la LAN se requiere optimizar al transmitirse mediante el enlace WAN. Todo esto en base a los reglamentos de la compañía, bajo la revisión y autorización de quien corresponda.

El modo de implementación que se utilizó para realizar las pruebas de rendimiento de la optimización del enlace WWAN en el presente proyecto es

el modo bridge, conocido también como modo puente. Se ha decidido implementar en base a éste modo ya que es un tipo de implementación muy versátil, pues tiene la capacidad de adaptarse a casi toda clase de infraestructura, lo que significa que las modificaciones a realizarse dentro de la infraestructura no son de gran escala.

La Figura 27 muestra dónde se ubicó el servidor que contenía el software optimizador dentro de la red de la sede UIO, en caso de presentar alguna falla éste actúa como un cable de conexión y la información sigue su curso.

En la sede de GYB al igual que en la sede UIO, el servidor donde se encuentra el software libre se comportaría como un cable de conexión en caso de presentar algún incidente, con el fin de no interrumpir el flujo de la información.

3.2.1. Configuración de Dispositivos

Dentro de esta sección se pueden observar las configuraciones de los componentes de la red que se utilizaron para conectar el equipo optimizador.

Configuraciones en la sede Quito

Las configuraciones que se muestran a continuación se han realizado para utilizar las dos herramientas optimizadoras, es decir sirvieron para habilitar tanto Wanos como CloudBridge.

Tabla 11.
Datos sede Quito

Segmento de red	192.168.1.0/24
Vlan	1

El tráfico que se determinó optimizar es el de la Vlan 1, se indagó la manera de circular este tráfico específico entre las interfaces dedicadas del switch de core (Cisco) y el firewall (CheckPoint), para ubicar la herramienta optimizadora en medio de estos componentes como se muestra en la Figura

27. Para éste procedimiento fue necesario realizar configuraciones en el switch de core, las cuales se detallan a continuación:

En el switch de Core se restringió en tráfico de la Vlan 1 a través de una sola interfaz GI 0/5 y se permitió el tráfico de las demás Vlan por otro puerto ya asignado.

```
!
interface GigabitEthernet0/5
description **CONEXION_CORE-FW VLAN1**
switchport mode access
spanning-tree portfast
!
```

Figura 28. Captura configuración Sw Core UIO

**Tabla 12.
Configuración UIO**

Configuración	Descripción
interface GigabitEthernet0/5	Puerto asignado para el enlace
description **CONEXION_CORE-FW VLAN1**	Descripción del enlace
switchport mode Access	A través de este enlace solo circula la Vlan 1
spanning-tree portfast	En caso de existir un bucle el puerto pase directamente al de Forwarding

No hubo necesidad de modificar las configuraciones realizadas en el firewall de seguridad perimetral, pues como se puede observar la primera fila de la Figura 29, por el puerto de gestión circula solo el tráfico de la Vlan 1.

Name	Type	IPv4 Address	Subnet Mask	IPv6 Address	IPv6 Mask Length	Link Status
Mgmt	Ethernet	192.168.1.250	255.255.255.0	-	-	Up
eth1	Ethernet	-	-	-	-	Up
eth1.20	VLAN	192.168.20.250	255.255.255.0	-	-	Up
eth1.30	VLAN	192.168.30.250	255.255.255.0	-	-	Up
eth1.50	VLAN	192.168.40.250	255.255.255.0	-	-	Up
eth2	Ethernet	172.16.2.1	255.255.255.0	-	-	Up

Figura 29. Configuración de enlaces en el firewall

La Figura 29 y Figura 30 muestran la configuración establecida en el firewall NGF.

Destination Address	Next Hop Type	Rank	Local Scope	Gateways (Priority)	Ping	Comment
Default	Normal	60	N/A	200.93.231.129 (1)	No	
10.0.0.0/24	Normal	60	Off	172.16.2.2 (1)	No	
10.0.1.0/24	Normal	60	Off	172.16.2.2 (1)	No	
10.10.1.0/24	Normal	60	Off	172.16.2.2 (1)	No	
20.20.2.0/30	Normal	60	Off	20.20.2.1 (1)	No	
20.20.4.0/30	Normal	60	Off	20.20.2.1 (1)	No	
20.20.5.0/30	Normal	60	Off	20.20.2.1 (1)	No	
192.168.3.0/24	Normal	60	Off	172.16.2.2 (1)	No	

Figura 30. Configuración de rutas en el firewall

Configuraciones en Guayllabamba

Cabe recalcar que las configuraciones establecidas en los componentes de la sede Guayllabamba se utilizaron para activar ambos softwares optimizadores.

Tabla 13.
Datos sede Guayllabamba

Segmento de red	192.168.3.0/24
Vlan	1

Dado que el tráfico definido para optimizarse era el de la Vlan 1, al otro extremo del enlace también se buscó la manera de hacer circular solo ese tráfico entre las interfaces dedicadas del switch de core (Cisco) y el router del cliente (Cisco), permitiendo colocar el optimizador (WANOS) en medio de estos equipos como se indica en la Figura 27. Para este procedimiento fue necesario realizar las siguientes configuraciones en las interface del switch de core y en el router del cliente:

En el switch de Core se restringió en tráfico de la Vlan 1 a través de una sola interfaz GI 0/10 y se permitió el tráfico de las demás Vlan por otro puerto.

```
!
interface GigabitEthernet0/10
description **CONEXION_CORE-ROUTER VLAN1**
switchport mode access
spanning-tree portfast
!
```

Figura 31. Captura configuración Sw Core GYB

Tabla 14.
Configuración Core GYB

Configuración	Descripción
interface GigabitEthernet0/10	Puerto asignado para el enlace
description **CONEXION_CORE-ROUTER VLAN1**	Descripción del enlace
switchport mode Access	A través de este enlace solo circula la Vlan 1
spanning-tree portfast	En caso de existir un bucle el puerto pase directamente al de Forwarding

Se pudo verificar que el router del cliente trabajaba con un IOS de capa dos, por lo que para lograr el objetivo se realizó un proceso similar al anterior, donde se asignó un puerto (Fa 0/1) para que circule el tráfico de la Vlan 1.

```
!
interface FastEthernet0/1
description **CONEXION_ROUTER-CORE VLAN1**
switchport mode access
spanning-tree portfast
!
```

Figura 32. Captura configuración Router cliente GYB

Tabla 15.
Configuración Router GYB

Configuración	Descripción
interface GigabitEthernet0/1	Puerto asignado para el enlace
description **CONEXION_ROUTER-CORE VLAN1**	Descripción del enlace
switchport mode Access	A través de este enlace solo circula la Vlan 1
spanning-tree portfast	En caso de existir un bucle el puerto pase directamente al de Forwarding

3.2.2. Configuración Inicial

La configuración inicial de ambas herramientas optimizadoras es muy parecida con respecto a la información solicitada, sin embargo no son iguales, en las siguientes gráficas se presenta cada una de las interfaces que muestran las aplicaciones basadas en software libre.

Como se puede observar en la figura 33., Wanos requiere acceder a la sección de Network Settings, ésta forma parte de la interfaz del software libre donde se solicitan algunos datos como:

- Dirección IP de la WAN con su correspondiente máscara.
- Gateway con su respectiva máscara.
- Tipo de implementación que se va a manejar.

The image shows a web form titled "Network Settings" with a dark header. The form contains the following fields:

- Wan IP Address / Mask:** A text input field containing "192.168.1.0/24". Below it, there is a small "Ex:" label and the example "192.168.0.1/24".
- Wan Gateway:** A text input field containing "192.168.1.1/24".
- Deployment Mode:** A dropdown menu with "bridge" selected.
- Secondary Address / Mask:** An empty text input field.

At the bottom of the form, there are two buttons: "Cancel" and "Submit".

Figura 33. Configuración inicial Wanos

La Figura 34 muestra la configuración inicial que requiere la herramienta Cloudbridge para funcionar adecuadamente, en este caso la herramienta solicita información como:

- Dirección IP servidor
- Dirección IP del management
- Máscara
- Gateway
- Dirección IP Cloudbridge
- Fecha y hora

The screenshot shows the 'Network Configuration' dialog box for CloudBridge. It is organized into four main sections:

- Network Configuration:**
 - DevServer IP Address: 192.168.100.1
 - Management Service IP Address: 255.255.1.250
 - Network: 255.255.255.0
 - Gateway: 192.168.1.1
 - DNS: (empty field)
- CloudBridge Configuration:**
 - IP Address: 192.168.1.0
 - Use System Network and Gateway
 - Network: 255.255.255.0
 - Gateway: 192.168.1.1
- System Settings:**
 - NTP Server: (empty field)
 - Time Zone: UTC-0700 PDT America/Los_Angeles
- Admin Password:**
 - Change Password

At the bottom of the dialog are 'Done' and 'Cancel' buttons.

Figura 34. Configuración inicial Cloudbridge

3.2.3. Configuración de Políticas

Es necesario tomar en cuenta que sobre ambos softwares optimizadores se configuraron las mismas reglas, con el fin de realizar posteriormente la comparación de los resultados emitidos por éstos.

En la Figura 35 se pueden observar las rutas de origen y destino, para luego identificar qué tráfico se va a optimizar, también qué tráfico no se va a optimizar y qué tráfico se descartará.

#	Source	Destination
	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0
	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0
1	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24
3	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24
5	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24
10	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24
15	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24
100	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0

Figura 35. Políticas de enrutamiento – Wanos y Cloudbridge

Una vez identificado el tráfico a utilizarse es necesario especificar las prioridades del mismo y cómo tratar los diferentes flujos de información, para lo que se crearon reglas de política de tráfico basadas en criterios de coincidencia, como se observa en la Figura 36, la regla 3 coincide con todo el tráfico de voz que se identifica con la subred de origen: 192.168.1.0/24, mientras la regla 5 clasifica todo el tráfico SMTP que coincide con el puerto TCP 25.

#	Source	Destination	Port
	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	Interactive
	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	Encrypted
1	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	tcp port 1433
3	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	udp
5	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	src tcp port 25
10	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	tcp
15	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	udp
100	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	tcp

Figura 36. Políticas QoS – Wanos y Cloudbridge

La característica de marcación del tráfico en este caso lo presenta la herramienta Wanos y es opcional tal como se puede observar en la Figura 27, existen reglas en las cuales se habilita la marcación del tráfico y reglas en las que no se encuentra activada ésta opción, en la regla número 3 la red de voz está marcada con el valor DSCP EF y en la regla número 5 el tráfico SMTP está marcado con el valor DSCP AF13. Estos valores se han definido en base a los códigos DSCP que muestra la Tabla 6 en el capítulo 2.

#	Source	Destination	Port	DSCP
	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	Interactive	-
	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	Encrypted	-
1	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	tcp port 1433	-
3	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	udp	EF
5	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	src tcp port 25	AF13
10	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	tcp	-
15	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	udp	-
100	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	tcp	-

Figura 37. Políticas QoS Marcado – Wanos

Finalmente, a las reglas se les configuró una acción QoS (shape, drop, high priority, normal priority o low priority) de acuerdo a la prioridad que se requiere otorgar, por ejemplo alta prioridad se utilizó para el tráfico de voz, pues éste es sensible a la latencia.

Por otro lado se puede aplicar una prioridad baja para el tráfico que no es sensible a la latencia, o como se muestra en la Figura 38 en este caso se limitó el ancho de banda (2000Kbps) con la acción shape a aplicaciones como el correo electrónico. También se asignaron clases a cada regla o se agrupa algunas reglas en una sola clase para aplicar la misma acción.

#	Source	Destination	Port	DSCP	Class	QoS	Rate	Bypass
	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	Interactive	-	17	high	-	✓
	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	Encrypted	-	0	-	-	✓
1	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	tcp port 1433	-	1	high	-	🗑️ ✎
3	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	udp	EF	2	high	-	🗑️ ✎
5	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	src tcp port 25	AF13	6	shape	2000	🗑️ ✎
10	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	tcp	-	6	shape	2000	🗑️ ✎
15	192.168.1.0/24	192.168.3.0/24	udp	-	4	high	-	🗑️ ✎
100	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	tcp	-	0	-	-	

Figura 38. Configuración de reglas

Cuando se trata de herramientas optimizadoras basadas en software libre, ciertas características vienen determinadas por default en el software a instalarse, en este caso hablamos del método de optimización, ambos software por defecto traen consigo el método de compresión.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y COMPARACIONES

En la presente sección se exteriorizan los resultados arrojados por las herramientas optimizadoras con las que se realizaron las pruebas de optimización, con el objetivo de discriminar cuál de éstas brinda mejores características de rendimiento a la hora de trabajar sobre un enlace WAN en producción y aplicando las mismas políticas de QoS (por puertos) en cada uno de los softwares utilizados.

4.1. Comparación entre aplicaciones optimizadoras *basadas en software libre*

En la Figura 39 se muestran los resultados del software Wanos ubicado en la sede Quito, donde inicialmente la LAN ha recibido 3,5 Mbps del tráfico para ser transmitido. El equipo optimizador realiza su trabajo en base a las políticas de QoS configuradas (como se indica en la figura 36) y como resultado de la optimización se envía a la WAN 2,9 Mbps del tráfico transmitido. Esto quiere decir que gracias al apoyo que brinda el software Wanos aplicando el método de compresión se libera un espacio de 0,6 Mbps, lo que representa un 17,14% de optimización del canal.

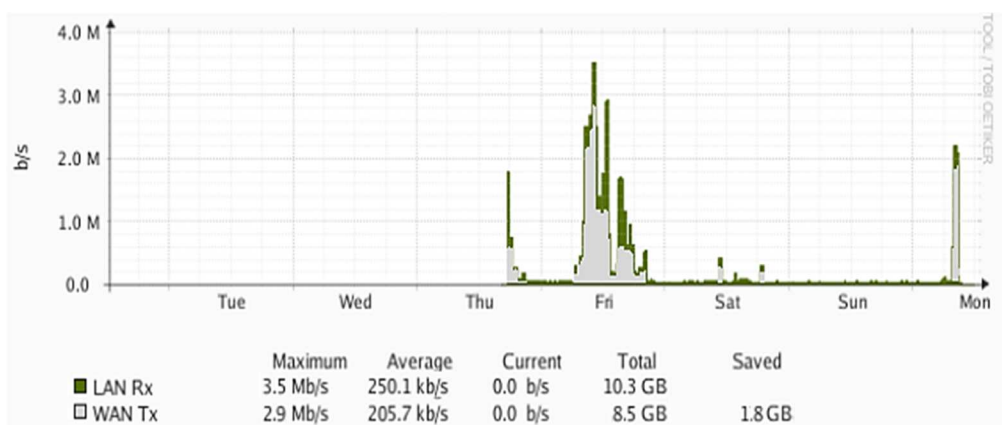


Figura 39. Wanos – Quito

Del mismo modo, se analizaron los resultados emitidos por el software CloudBridge ubicado en la sede Quito, el cual nos muestra que la LAN ha recibido 2,1 Mbps de tráfico que se va a transmitir y una vez que el flujo de información pasa por el proceso de optimización, se envía a la WAN 1,850 Mbps del tráfico transmitido como se puede apreciar en la Figura 40, lo que significa que con la técnica de compresión que brinda CloudBridge (default) y con las reglas configuradas como se muestra en la Figura 38, se obtuvo una liberación de espacio de 0,250 Mbps donde esta liberación representa el 11.9% de optimización del canal.

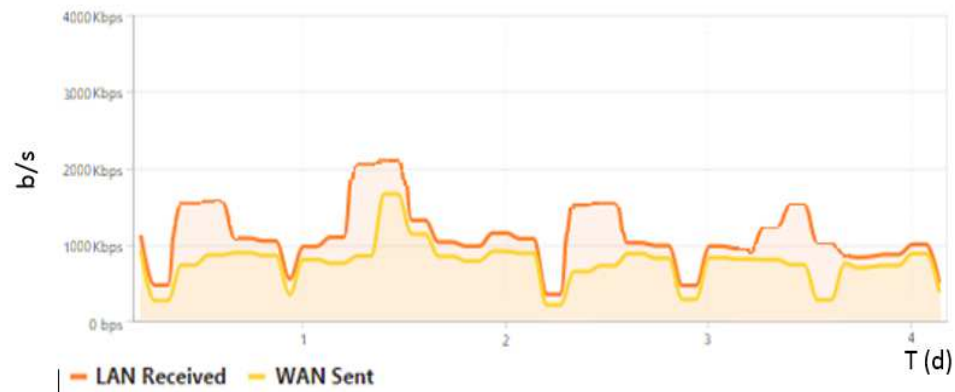


Figura 40. CloudBridge – Quito

Una vez realizadas las pruebas de optimización habilitando los softwares desde la sede Quito, se puede concluir entonces que Wanos proporciona mejores características cuando se trata de optimizar el rendimiento de un enlace WWAN en producción. Es visible su optimización sobre todo en recursos como el ancho de banda, liberando espacio del canal para que más información pueda ser transmitida de extremo a extremo.

Se puede concluir que gracias a la aplicación de métodos de optimización y políticas de QoS planteadas en la Figura 36, se logra obtener un rendimiento óptimo de los recursos de red, especialmente del ancho de banda, pues al no necesitar las retransmisiones permite liberar espacio del canal para que mayor cantidad de información pueda ser entregada de extremo a extremo. Si no existen retransmisiones de paquetes, disminuye el tiempo de retardo propio

del enlace haciendo que el usuario experimente mayor velocidad en el acceso a los archivos o servicios de la red.

Se analizaron también los resultados arrojados por la herramienta optimizadora ubicada en la sede Guayllabamba, como se indica en la Figura 41 la herramienta Wanos muestra que la LAN ha recibido 3,1 Mbps del tráfico a transmitirse y tras realizar el proceso de optimización bajo el método de compresión que ofrece por defecto el software libre Wanos la WAN envió 2,6 Mbps de tráfico transmitido, lo cual representa la liberación de 0,5 Mbps, constituyendo el 16,13% de optimización del canal.

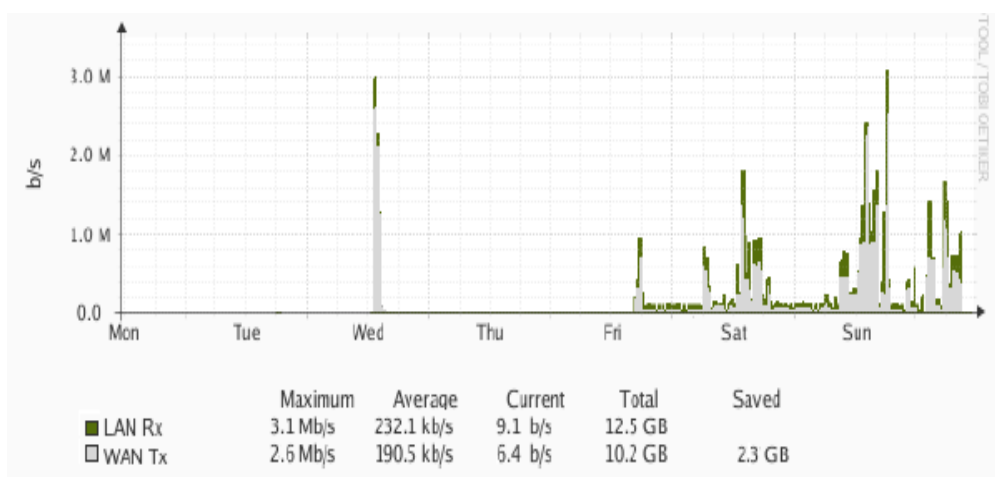


Figura 41. Wanos – Guayllabamba

Como se puede observar en la Figura 42 de igual manera desde la sede Guayllabamba se analizó el rendimiento mediante la herramienta CloudBridge, la cual reveló que la LAN recibió 3,1 Mbps del tráfico que se va a transmitir, mientras que la WAN envía 2,775 Mbps después de haber atravesado un proceso de optimización mediante la técnica de compresión que brinda por defecto el software libre CloudBridge y una serie de políticas configuradas como se indica en la Figura 38, se liberó un espacio de 0,325 Mbps, lo que representa el 10,5% de optimización del canal.

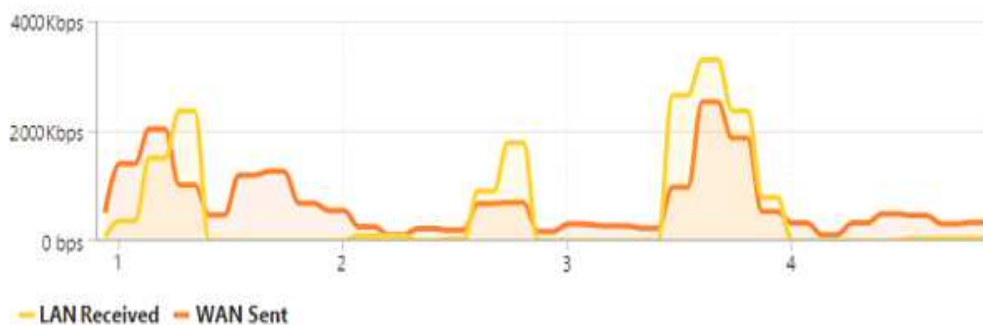


Figura 42. CloudBridge – Guayllabamba

Como se puede distinguir en las Figura 39, Figura 40, Figura 41 y Figura 42, el cliente cuenta con una liberación del ancho de banda, lo que quiere decir que se puede transmitir el tráfico generado desde la LAN sin necesidad de saturar el enlace WAN, empleando de manera eficaz los recursos y garantizando la recepción de todos los paquetes transmitidos.

Por todo esto se concluye que gracias a la utilización de herramientas optimizadoras la producción se vuelve más eficiente, significa que con la misma cantidad de Mbps que tiene el enlace WAN se puede enviar mayor cantidad de información durante el mismo tiempo, lo que permite al usuario percibir mayor velocidad al momento de transmitir el flujo de datos.

4.1.1. Transmisión de datos

Con el fin de verificar el rendimiento que proporcionan las herramientas optimizadoras se realizó una serie de pruebas mediante un servidor FTP, enviando información desde la sede Quito (UIO) hacia la sede Guayllabamba (GYB), se han tomado algunos de los datos expuestos en las mencionadas pruebas se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16.
Datos pruebas de transmisión - Wanos

WANOS		
Velocidad (Mbps)	Tiempo de Tx (min)	Throughput (Kbps)
0,1313	4,5	1040,5
0,1314	4,52	1040,8
0,1312	4,54	1041,9
0,1313	4,54	1041,9
0,1311	4,52	1041,8

Para posteriormente realizar oportunas comparaciones se ha obtenido la media de los datos tomados en las pruebas de transmisión realizadas.

Tabla 17.
Datos – media transferencia con Wanos

Velocidad	0,1312 MB/sec
Tiempo Tx	4,53 minutos
Throughput	1041,6 Kbps

En la Figura 43 se muestra una de las pruebas realizadas al transmitir flujo de información cuando se ha mantenido activada la herramienta optimizadora Wanos.

Servidor/Archivo local	Direcci...	Archivo remoto	Tamaño	Prioridad	Estado
prime@192.168.1.10					
C:\Users\Erika\Desktop\FT...	<<--	/PI-APL-3.0.0.0.78-1-K9.iso	3,978.631.1...	Normal	Transfiriendo
00:01:25 transcurrido	quedan	00:03:28	26.8%		(0,1302 MB/s)

Figura 43. Transmisión – Wanos

De igual forma habilitando el software CloudBridge, se realizaron pruebas de transferencia de información y se tomaron los datos relevantes que proporcionaron dichas pruebas. En la Tabla 18 se pueden apreciar los datos seleccionados.

Tabla 18.
Datos pruebas de transmisión - CloudBridge

CLOUDBRIDGE		
Velocidad (Mbps)	Tiempo de Tx (min)	Throughput (Kbps)
0,1251	4,67	1000,5
0,1252	4,75	1000,91
0,1249	4,88	1000,82
0,1253	4,9	1000,79
0,1351	4,71	1000,79

Se ha logrado tener la media de los datos obtenidos como resultado de la realización de las pruebas de transmisión, en la Tabla 19 se ha plasmado dicha media obtenida.

Tabla 19.
Datos – media transferencia con CloudBridge

Velocidad	0,1251 MB/sec
Tiempo Tx	4,80 minutos
Throughput	1000,8 Kbps

En la Figura 44 se muestra una de las pruebas realizadas al transmitir flujo de información cuando se ha mantenido activada la herramienta optimizadora CloudBridge.

Servidor/Archivo local	Direcci...	Archivo remoto	Tamaño	Prioridad	Estado
prime@192.168.1.10					
C:\Users\Erika\Desktop\FT...	<<--	/PI-APL-3.0.0.0.78-1-K9.iso	3.978.631.1...	Normal	Transfiriendo
00:01:05 transcurrido		quedan 00:03:75	<div style="width: 27.0%; background-color: green; border: 1px solid black;"></div> 27.0%	(0,1251 MB/s)	

Figura 44. Transmisión - CloudBridge

En la Figura 45 se observa la comparación del tiempo de transmisión inicial tomada anteriormente (Tabla 10) con el tiempo de transmisión que se presenta al utilizar las herramientas optimizadoras basadas en software libre.

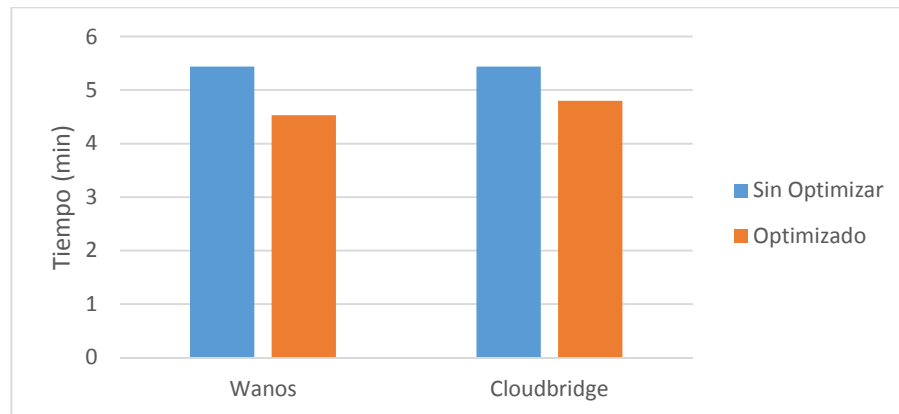


Figura 45. Tiempo Tx inicial vs Tiempo Tx software optimizador

4.2. Comparación entre aplicación optimizadora *basada en Software Libre* y Hardware optimizador dedicado

Gracias al proyecto de investigación “Análisis y optimización del rendimiento de enlaces inalámbricos de área extendida, utilizando Hardware dedicado” (Santos Logroño, 2014), se pudo realizar una comparación del rendimiento del enlace WWAN bajo la utilización de herramientas optimizadoras tanto basadas en software libre como basadas en hardware dedicado.

Con respecto a las configuraciones realizadas en las herramientas optimizadoras, sobre hardware dedicado se creó un túnel virtual de tipo GRE entre los dispositivos WOC, éste tipo de túnel permite transportar hasta 20 protocolos diferentes de capa 3 y forma parte del mecanismo de tunneling, mientras que las aplicaciones optimizadoras basadas en software libre no cuentan con ésta característica de túnel encapsulado y seguro.

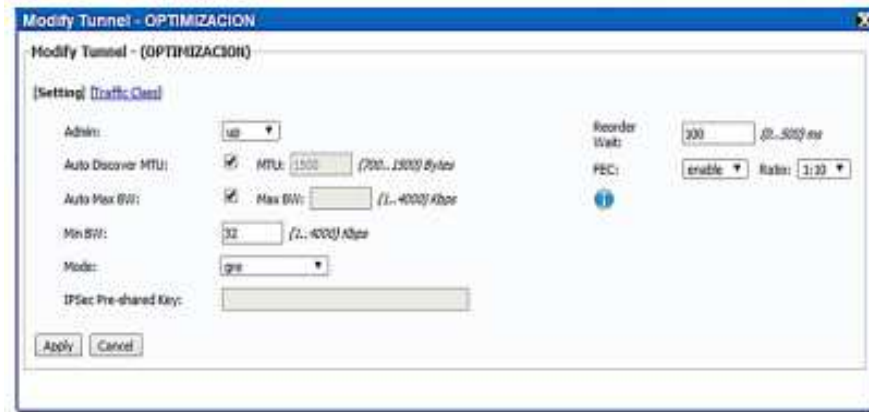


Figura 46. Configuración Túnel Virtual GRE

Fuente: (Santos Logroño, 2014)

Otra característica que se puede destacar como ventaja del hardware dedicado frente al software libre es que permite configurar manualmente el valor del tiempo (record wait) para esperar un paquete que ha llegado en desorden, en este caso se indica que se estableció un tiempo de 100 msec (Santos Logroño, 2014).

La solución basada en hardware dedicado incluye la opción de aplicar técnicas de corrección de errores (FEC) sobre todos los datos que atraviesan el túnel virtual, mecanismo que permite la corrección de errores en el receptor sin necesidad de retransmisión de la información original.

En el presente proyecto de investigación es compresión la técnica de optimización utilizada tanto en las herramientas basadas en software libre como en la solución de hardware optimizador dedicado, la cual mediante la identificación de patrones sobre los flujos de datos y aplicando algoritmos se elimina la mayor cantidad de redundancia.

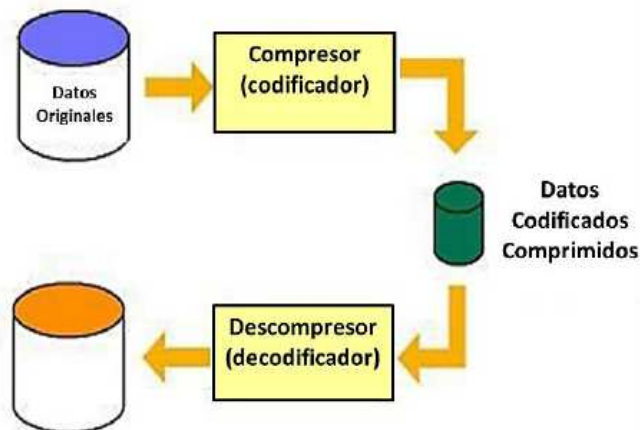


Figura 47. Técnica de Compresión

Conforme a lo expuesto se puede notar que el hardware dedicado brinda excelentes características de rendimiento cuando se trata de optimizar el enlace WWAN, pues de acuerdo a lo que señala el proyecto de investigación mencionado, el tráfico generado de la LAN es aproximadamente igual a 100 Mbps, mientras que la transmisión del tráfico WAN manifiesta aproximadamente 5 Mbps de utilización del canal, sin la necesidad de saturar o desechar tráfico, lo que representa aproximadamente el 66,67% de la optimización del canal (Santos Logroño, 2014).

En la Figura 48 se puede apreciar la comparación en porcentajes de la optimización del rendimiento de un enlace WWAN de acuerdo a los resultados arrojados por las distintas herramientas optimizadoras que se han utilizado y su comparación con los resultados de utilizar hardware optimizador dedicado.

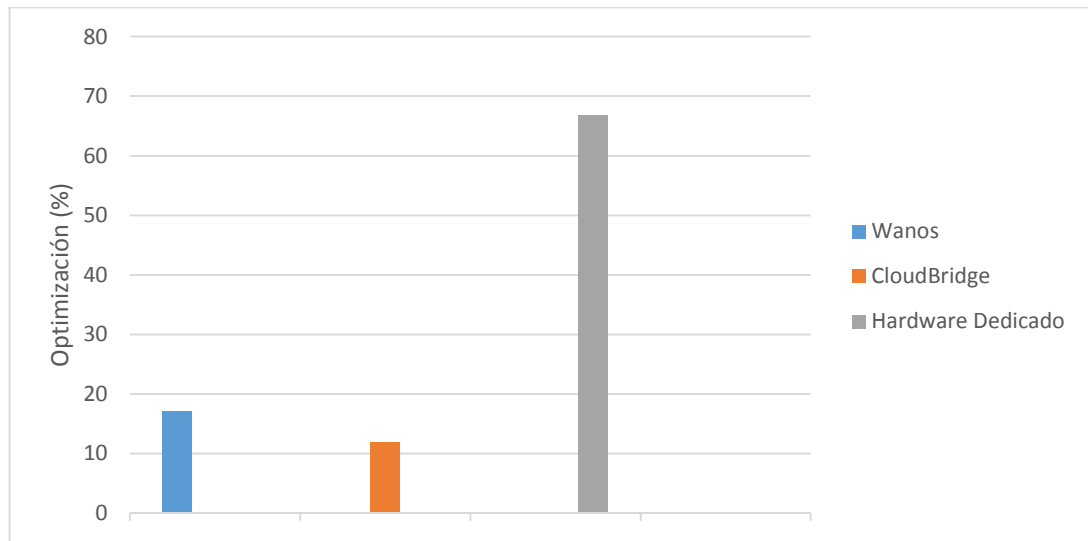


Figura 48. Optimización Software vs Hardware

De acuerdo a lo mencionado en el proyecto de investigación “Análisis y optimización del rendimiento de enlaces inalámbricos de área extendida, utilizando Hardware dedicado” (Santos Logroño, 2014) y a las pruebas realizadas en el presente, se puede entonces concluir que el hardware dedicado cuenta con características avanzadas para manipular el rendimiento de los enlaces WAN como por ejemplo la posibilidad de seleccionar entre varios tipos de métodos de optimización que se necesite aplicar de acuerdo a cada uno de los flujos de información, mientras que las herramientas optimizadoras basadas en software brindan limitados servicios debido a que la aplicación “sin licenciamiento” solamente permite como técnica de optimización la compresión. Sin embargo bajo costo de licenciamiento es posible adicionar otras técnicas de optimización como por ejemplo caching, tunneling, recuperación de la pérdida de paquetes, etc.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Con respecto a las configuraciones realizadas sobre cada una de las aplicaciones optimizadoras, se pudo notar que la interfaz del software Wanos es más amigable con el usuario, pues de manera fácil e intuitiva se logra configurar los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento de la herramienta, sin embargo cuenta con limitaciones de utilizar características que necesitan licenciamiento adicional como la técnica de caching, la cual permite poner los datos en almacenamiento local de acuerdo al comportamiento humano, es decir la información a la que los usuarios acceden con mayor frecuencia, lo que permitiría que los usuarios no utilicen de manera repetitiva el ancho de banda al manejar información de la web o bases de datos, simplemente se tomaría la información ya almacenada.
- Se realizó el análisis del desempeño del enlace WWAN utilizando las aplicaciones de software libre, las cuales de los resultados obtenidos permitieron realizar una comparación entre ellas y para el análisis se realizaron las mismas configuraciones en las dos herramientas optimizadoras, como resultado de estas pruebas se demostró que Wanos tiene la capacidad de optimizar aproximadamente el 17,2% del flujo de información, mientras que CloudBridge brinda una optimización del rendimiento de aproximadamente el 11,9% de la información transmitida.
- Con los resultados obtenidos en el proyecto de titulación “Análisis y optimización del rendimiento de enlaces inalámbricos de área extendida, utilizando Hardware dedicado” (Santos Logroño, 2014), se realizó la comparación de la optimización del rendimiento del enlace WAN entre el hardware optimizador dedicado y las aplicaciones

optimizadoras basadas en software libre, donde se tuvo como resultado que el hardware dedicado como su nombre lo indica proporciona características específicas y avanzadas, así como la posibilidad de seleccionar entre varios métodos de optimización, proporcionando aproximadamente una optimización del 66,67% en la transmisión de información, mientras que las herramientas de software libre en promedio optimizan aproximadamente el 14,55% de la información transmitida.

5.2. Recomendaciones

- Es recomendable realizar una correcta planificación del proyecto, tomando en cuenta los recursos necesarios para el adecuado funcionamiento y las características de los lugares donde se encuentra el escenario de pruebas, pues el usual problema que presentan los enlaces inalámbricos de área extendida son las pérdidas por interferencia.
- Es necesario realizar pruebas para verificar el funcionamiento adecuado de las herramientas optimizadoras antes de ubicarlas dentro de la red en producción, para evitar incidentes críticos como la indisponibilidad de la red.
- El uso de las herramientas optimizadoras basadas en software libre se recomienda aplicar sobre enlaces de baja capacidad como por ejemplo radio enlaces, en éstos el usuario puede percibir la optimización realizada a comparación de los enlaces de fibra óptica que resulta imperceptible.
- Se recomienda como trabajos futuros realizar las pruebas descritas en el presente proyecto de investigación, un estudio y análisis del desempeño de enlaces inalámbricos utilizando software libre con

licenciamiento bajo costo, con el fin de añadir funcionalidades como técnicas de optimización y comparar su rendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, D., Lara, R., León, P., & Santos, G. (Abril de 2016). *IEEE*. Obtenido de ResearchGate.
- Aguilar, D., Lara, R., León, P., & Santos, G. (Junio de 2016). *IEEE*. Obtenido de ResearchGate.
- Blake, Black, Carlson, Davies, Wang, & Weiss. (Diciembre de 1998). *RFC 2475*. Obtenido de <https://tools.ietf.org/html/rfc2475>
- Citrix. (2015). *Citrix Systems*. Obtenido de https://www.citrix.com/content/dam/citrix/en_us/documents/products-solutions/wan-virtualization-with-citrix-cloudbridge.pdf
- Citrix. (2016). *Citrix Systems*. Obtenido de <https://lac.citrix.com/downloads/cloudbridge.html>
- Escobar, C. (Mayo de 2013). Obtenido de Libertad de acceso al conocimiento: <http://www.charlesescobar.com/?p=86>
- Hooper, H. (2012). *Search TechTarget*. Obtenido de <http://searchdatacenter.techtarget.com/es/respuesta/Cual-es-la-diferencia-entre-optimizacion-WAN-y-aceleracion-WAN>
- Kankipati, K. (2016). *The Toffee Project*. Obtenido de <http://trafficsqueezer.org>; <http://the-toffee-project.org/>; <http://www.satsig.net/cgi-bin/yabb/YaBB.pl?num=1274206287>
- Mitchell, B. (Octubre de 2016). *About Tech*. Obtenido de http://compnetworking.about.com/cs/wireless80211/g/bldef_80211a.htm
- NetSolusi. (2015). *Net Solusi Integrasi*. Obtenido de <http://www.netsolusi.com/our-products/wanos/>
- Nichols, Blake, Baker, & Black. (Diciembre de 1998). *RFC 2474*. Obtenido de <https://tools.ietf.org/html/rfc2474>
- Radwin. (2016). *Radwin*. Obtenido de <http://www.radwin.com/products/point-to-point/radwin2000>
- RFC2597. (Junio de 1999). *Assured Forwarding PHB Group*. Obtenido de RFC 2597: <https://tools.ietf.org/html/rfc2597>

- RFC3246. (Marzo de 2002). *An Expedited Forwarding PHB* . Obtenido de <https://tools.ietf.org/html/rfc3246>
- Rouse, M. (2007). *Tech Target*. Obtenido de Search Networking: <http://searchnetworking.techtarget.com/definition/Gigabit-Ethernet>
- Santos Logroño, G. (2014). *Repositorio ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8907/1/AC-ET-ESPE-048146.pdf>
- Suárez Armijos, J. N. (2012). *Repositorio Universidad Salesiana, Sede Cuenca*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2146/16/UPS-CT002403.pdf>
- Teleco, M. (4 de 10 de 2014). *Mundo Telecomunicaciones*. Obtenido de Blog: <http://mundotelecomunicaciones1.blogspot.com/2014/10/zona-de-fresnel.html>
- Wanos Networks*. (2015). Obtenido de <http://wanos.co/wan-optimization/>
- WANProxy*. (2015). Obtenido de <http://wanproxy.org/>
- Yaple, J. (2016). *Sourceforge*. Obtenido de <http://www.opennop.org/>

