



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LAS TELECOMUNICACIONES

Curso Académico 2018/2019

Trabajo Fin de Grado

DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE UNA RED DE BACKHAUL RURAL PARA ESTACIONES DE ACCESO 3G EN PUEBLOS AISLADOS DE LA AMAZONÍA PERUANA

Autor : Adrián Úbeda-Portugués Casas
Tutor : Dr. Francisco Javier Simó Reigadas

Dedicado a quienes nunca dejaron de creer.

Agradecimientos

Agradecer a todos los compañeros y personal docente de la URJC con los que tuve la suerte de compartir clase. En especial a Sara, Cristina, Antonio, Eva, Samuel y Sergio por soportarme, ayudarme y mantenerse a mi lado en cualquier circunstancia.

Gracias a Javier Simó, tutor del trabajo fin de grado, por su apoyo y confianza dándome la oportunidad de participar en un proyecto de marco internacional.

Agradecer de corazón a Luisma, Iván, Óscar, Tejero, Eva R., Gosie, Fer, Gema, Mauro, Nuria y Sandra por acompañarme todo este tiempo, dándome su apoyo incondicional e inquebrantable.

Por último, y no por ello menos importante, a mi familia que siempre me ha apoyado a lo largo de este desafío; y en especial a mis padres, Emilio y Carmen, de los cuáles me siento orgulloso. Sin ellos, esto hubiese sido una quimera y no sería nada de lo que soy hoy en día.

Resumen

Hoy en día, la creciente demanda de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) hace que países en desarrollo consigan unas mejores prestaciones de la tecnología con el fin de obtener un crecimiento y avance en la sociedad. No obstante existen países en vías de desarrollo que se ven afectados por esto, ya que los operadores de telefonía no invierten en ciertas zonas rurales o alejadas debido a la fuerte inversión que ha de realizar y la poca rentabilidad. Esto implica que exista una creciente brecha tecnológica entre los países.

En el proyecto TUCAN3G se trató de abordar este asunto creando una red de telemedicina desde Cabo Pantoja hasta Iquitos, lugar donde se encuentra el Hospital Regional de Loreto. Dicha solución proporcionaba una red de telecomunicación para los habitantes de los pueblos rurales intermedios consiguiendo realizar consultas sanitarias en un menor tiempo favoreciendo así el desarrollo de la sociedad. El siguiente objetivo que se estableció fue la cohesión de dos redes: La red ya existente de telemedicina y una nueva red de datos.

Este proyecto se basa en el diseño y estudio de la cohesión de las dos redes anteriormente mencionadas. Para ello se tendrá en cuenta todo lo desarrollado en el proyecto TUCAN3G así como las nuevas aportaciones existentes desde la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), con el fin de realizar un despliegue que satisfaga los objetivos marcados en este proyecto.

Para llevar a cabo todo el proyecto, se recreará en laboratorio un escenario similar al existente en la cuenca del río Napo, con el objetivo de estudiar el rendimiento y viabilidad de utilizar los nuevos equipos propuestos. Además de esto, se analizarán diferentes soluciones *software* para la gestión y monitorización de la nueva red del proyecto.

Índice general

1. Introducción	3
1.1. Contexto	3
1.2. Proyecto Napo	4
1.2.1. Estructura	4
1.2.2. Utilización de la red	5
1.3. Objetivos del proyecto	6
1.4. Organización del documento	7
2. Marco teórico	8
2.1. Red de transporte en redes inalámbricas para zonas rurales	8
2.1.1. Comunicaciones inalámbricas	9
2.1.1.1. Nstreme	9
2.1.1.2. NV2	9
2.1.1.3. WiFi para largas distancias	10
2.1.1.4. WiMAX	11
2.2. Monitorización de redes	12
3. Metodología	15
3.1. Equipos Mikrotik: NetMetal 5	15
3.1.1. Hardware	15
3.1.2. Software	16
3.1.2.1. WinBox	16
3.2. Configuración y diseño de la red	18
3.2.1. Estudio previo	18
3.2.2. Estudio con RadioMobile	20
3.2.3. Configuración de equipos	22
3.3. Inyección de tráfico simulado	22
3.3.1. Iperf	23
3.3.2. Bandwidth test	23
3.3.3. Configuración y realización de pruebas	24
3.4. Monitorización y gestión: Zabbix	24
3.4.1. Integración de escenario	25
4. Resultados obtenidos	28
4.1. Análisis de resultados	28

5. Conclusiones	31
5.1. Competencias adquiridas	31
5.2. Trabajos futuros	31
6. Anexos	33
6.1. Tablas empleadas	33
6.2. Código utilizado	37
Bibliografía	40

Capítulo 1

Introducción

Durante los últimos años hemos sido testigos del avance y desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en zonas urbanas y países desarrollados. Esto es debido a la inversión que realizan los operadores de telefonía, cuyo objetivo es satisfacer la creciente demanda de servicios de comunicaciones existentes en la población.

Pese a estos avances que promueven la evolución de la sociedad y su desarrollo a nivel mundial, existen zonas en las cuáles dicha evolución no existe. Esta diferencia, se conoce como "brecha digital". Dichas diferencias se observan, sobre todo, en países en vías de desarrollo, y más en concreto entre las zonas rurales y urbanas del mismo, generando desigualdades en la población y su calidad de vida.

Hoy en día, gran parte de la población que ocupa esas zonas rurales, no tiene acceso a los servicios de las TIC. Esto es debido a que las soluciones propuestas por los operadores, no son sostenibles en términos de negocio, ya que su rentabilidad no está garantizada. Los altos costes de las telecomunicaciones suponen un esfuerzo económico importante para la población, como consecuencia directa de esto, supone reducir la inversión económica en otros factores sociales necesarios, como la salud o la educación.

Por tanto, el desarrollo de las TIC no sólo implica obtener acceso a los propios servicios de telecomunicaciones, sino que también implica desarrollar y fomentar el resto de sectores sociales y económicos. Para ello, existen medidas y soluciones propuestas de bajo coste que se adaptan a las condiciones de viabilidad de negocio y requisitos de la población, consiguiendo atenuar la "brecha digital" asegurando una plena integración de estos países en la sociedad de la información.

1.1. Contexto

Durante los últimos años, América latina ha sido testigo de un fuerte desarrollo en la telefonía celular. Sin embargo, aún existen zonas rurales aisladas, en las cuáles no existe una sostenibilidad por parte de las grandes operadoras de telecomunicaciones. La razón de esto es la no viabilidad de negocio por parte de las mismas, que no se aseguran la recuperación de la inversión. Por este motivo, el gobierno peruano creó la figura del Operador de Infraestructura

Móvil Rural (OIMR), cuyo objetivo es ofrecer ventajas competitivas para la interconexión de dichas zonas.

La viabilidad de interconectar estas zonas provocaría una mejora de la atención sanitaria, una modernización del sistema educativo y un impulso para el comercio rural, todo ello de manera eficiente, permitiendo a la población rural y al sistema público un ahorro importante en inversión.

Con esa interconexión como objetivo final la fundación Enlace Hispano Americano de Salud (EHAS) y la Universidad Pontificia Católica de Perú (PUCP), trabajan conjuntamente en el uso apropiado de las TIC, centrándose en el desarrollo de sistemas de telecomunicaciones apropiados para los escenarios rurales, y en la creación de servicios destinados a la calidad de vida de la población rural (telemedicina, teleducación, etc).

En 2013, EHAS y un consorcio de socios europeos y latinoamericanos, inician el proyecto TUCAN3G; éste combina nuevas tecnologías de acceso celular con redes de transporte heterogéneas. El objetivo es una solución a largo plazo, barata, sostenible, eficiente, autosuficiente y rentable.

El proyecto TUCAN3G mostró unos resultados muy positivos en cuanto a la viabilidad de desarrollo para llevar señal 3G, y la sostenibilidad del modelo de negocio en esas zonas rurales. Por consiguiente, los objetivos próximos se basan en impulsar la telefonía móvil y continuar con un modelo de negocio sostenible en zonas rurales aisladas, convirtiendo así, a la población en un factor activo de su propio desarrollo.

1.2. Proyecto Napo

En esta sección detallaremos todo lo referente al proyecto Napo, para comprender la relación con el trabajo realizado.

1.2.1. Estructura

El proyecto Napo está basado en la implementación de una red para la comunicación de centros y puestos de salud ubicados a lo largo del río Napo. [1.1] Esta red de telemedicina, desplegada a lo largo de la cuenca del río, está dividida en dos zonas, una rural y otra urbana. La localización geográfica de los pueblos involucrados en el proyecto se detalla en la siguiente figura.



Figura 1.1: Localización de la red del Napo

La zona rural comprende desde Cabo Pantoja (cerca de la frontera ecuatoriana) hasta Huaman Urco. Dentro de esta zona, los pueblos más importantes son Cabo Pantoja y Santa Clotilde, debido a que en ellos existen comodidades y servicios básicos para el trabajo.

Por una parte, la zona urbana está formada por los pueblos de Mazán e Iquitos. Por otra parte, el resto de pueblos que forman la red del Napo son pueblos en los cuáles existen limitaciones energéticas y de negocio, por lo que los servicios y prestaciones son precarios.

La red del Napo está compuesta por la red de transporte (*backhaul*) y la red de acceso. A su vez, la red *backhaul* está formada por enlaces inalámbricos de larga distancia, que utilizan el estándar IEEE 802.11n, desplegados a través de torres ubicadas en los diferentes pueblos que conforman la totalidad de la red. Por otro lado, los servicios de telefonía IP interna, videoconferencia y acceso a Internet, conforman el total de servicios ofrecidos por la red de telemedicina.

Adicionalmente, la red posee dos accesos satelitales ubicados en Cabo Pantoja y Santa Clotilde, los cuáles ofrecen acceso a Internet.

1.2.2. Utilización de la red

En la nueva red del Napo, deben coexistir dos tipos de red de datos, una de ellas destinada a la telemedicina y otra destinada al acceso 3G. Tanto el acceso a internet de la red de telemedicina, como el de la red 3G será por medio de enlaces satelitales, existiendo dos de ellos para cada una de las redes. Los puntos de acceso satelital para la red de telemedicina estarán ubicados en Cabo Pantoja y Santa Clotilde, mientras que para la red 3G dichas salidas estarán ubicadas en Cabo Pantoja y Huaman Urco. En ambas redes se dividirán en grupos las estaciones cliente y se asignarán los accesos satelitales. En caso de indisponibilidad de una pasarela satelital, se reconducirá el tráfico existente por el acceso satelital restante (si éste estuviera disponible).

Esta nueva red ha de cumplir con todos los requisitos y necesidades individuales de las redes que la componen y, a su vez, debe ofrecer calidad de servicio. Para la coexistencia de tráfico se ha planteado una implementación de enrutamiento dinámico, separación de tráfico y política de QoS (Calidad de Servicio); todo ello para conseguir acceso a los servicios ofrecidos por cada red y poder acceder, o redirigir, el tráfico a un gateway determinado. A continuación, describiremos los servicios y requisitos mínimos necesarios para cada una de las redes.

Por un lado, la red de telemedicina compuesta por 16 estaciones clientes (centros y puestos de salud), debe ofrecer servicios internos de telefonía IP, videoconferencia y acceso a Internet. Como se ha mencionado antes, existen dos puntos para el acceso satelital, uno en Cabo Pantoja y otro en Santa Clotilde. Para los servicios de telefonía IP, videoconferencia y acceso a Internet es deseable que todas las estaciones cliente puedan comunicarse de forma simultánea entre sí.

Por otro lado, la red 3G estará compuesta por 8 centros, los cuáles ofrecerán este servicio. El acceso al Core 3G será por medio de dos enlaces satelitales, ubicados en Huaman Urco y Cabo Pantoja.

Tras unas primeras pruebas sobre el diseño inicial, recogidas en la tabla 6.1 vemos como la capacidad de tráfico más restrictiva por enlace es de 44 Mbps, por tanto se usará este valor como parámetro mínimo en cuanto a capacidad para el resto de radioenlaces. Otra restricción a tener en cuenta, es la climatológica puesto que la red, es extensa y existe la posibilidad de que diferentes situaciones degraden la señal.

1.3. Objetivos del proyecto

El objetivo del proyecto Napo es implementar el servicio de acceso de telefonía móvil, provisto de celdas 3G, para que sea compatible con los servicios ya existentes en la red de telemedicina. Para ello, se reemplazarán los equipos de los emplazamientos involucrados en el proyecto. La finalidad de este cambio es mejorar las capacidades de los enlaces radio, para la coexistencia de tráfico de telefonía celular 3G y los servicios de telemedicina. En orden con lo anterior, para el acceso al Core 3G, se desarrollarán dos nuevos accesos satelitales ubicados en Cabo Pantoja y Huaman Urco.

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado consiste en proporcionar una solución sostenible al proyecto, capaz de adaptarse a las situaciones y limitaciones del mismo, y que mantenga los mínimos criterio respecto a los diferentes niveles de QoS definidos en el proyecto. Para ello, se realizarán configuraciones equivalentes a las existentes en la nueva red del Napo en laboratorio y se propondrán soluciones respecto a la gestión y monitorización de la red, todo ello mediante el uso de un software dedicado.

1.4. Organización del documento

La organización correspondiente al Trabajo Fin de Grado viene detallada a continuación.

En el primer capítulo, se hace una introducción al desarrollo de las TIC en América latina y, más en concreto, al contexto existente en la cuenca del río Napo. Se presenta la red desplegada en el proyecto TUCAN3G mostrando los resultados obtenidos, y procediendo a su posterior análisis. Por último, se detalla la relación del proyecto Napo con el Trabajo Fin de Grado.

En el segundo capítulo, se describirá el estado del arte referente a las diferentes tecnologías y protocolos utilizados en el proyecto. Por un lado, se realizará una descripción de las soluciones propuestas para redes de transporte en zonas rurales. Por otro lado, se introducirá la monitorización y gestión de redes para nuestro trabajo, y se describirán las diferentes soluciones software posibles.

En el tercer capítulo, se explicará de manera detallada, el funcionamiento y configuración de los equipos involucrados en el Trabajo Fin de Grado, teniendo como objetivo obtener un escenario similar al que pudiera tenerse en el marco del proyecto. Para ello, se realizarán pruebas a nivel de laboratorio referentes a tráfico y monitorización de los equipos.

En el cuarto capítulo, se procede a analizar y contrastar los resultados obtenidos. Dichos resultados deberán aportar una solución en cuanto a los requisitos de diseño de la nueva red del Napo y detectar anomalías si las hubiera.

En el quinto capítulo, se muestran las conclusiones y competencias adquiridas a partir de este Trabajo fin de Grado, y una visión acerca de futuros trabajos basados en este proyecto.

En el sexto capítulo, se muestran las tablas y código utilizado para el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado.

Finalmente, se encuentra la bibliografía utilizada para llevar a cabo este Trabajo Fin de Grado.

Capítulo 2

Marco teórico

En este capítulo se explicará de manera detallada los conceptos y tecnologías más importantes relacionadas con el desarrollo del proyecto, así como una breve introducción a la monitorización de redes.

A continuación, se describirán las soluciones y propuestas empleadas para resolver el problema sobre la red de transporte. Así mismo, se explicarán los estándares y protocolos utilizados y más destacados. En concreto se hablará de WiFi para larga distancia (WiLD), WiMAX y los protocolos propietarios de Mikrotik [3] Nstreme y NV2.

Por último, se analizarán diferentes programas software de monitorización y gestión de redes, estableciendo una comparativa entre ellos. Del mismo modo, se comentará de manera más detallada el funcionamiento y características de la herramienta escogida como solución para el desarrollo del proyecto.

2.1. Red de transporte en redes inalámbricas para zonas rurales

Idealmente, el acceso a los servicios telecomunicaciones debería ser universal, pero este hecho no se produce. Esto es debido a que las operadoras de telefonía frenan su inversión y desarrollo en zonas rurales en las cuáles, no existe viabilidad de negocio. Por tanto, existe la necesidad de soluciones flexibles y de bajo coste para tratar de resolver dicho problema.

Una solución para este problema es el uso de femtoceldas. Estas femtoceldas en un principio estaban diseñadas para cubrir los vanos de cobertura existentes en determinadas zonas, por lo cual muchas de ellas están alojadas dentro de edificios. Lo que hace de las femtoceldas una solución viable es su escaso consumo energético y su flexibilidad, obteniendo así la posibilidad de acceso a la red de transporte o backhaul. Esto aporta una solución más viable para el operador de telefonía frente al uso de nodos convencionales: la inversión es menor obteniendo un rendimiento equitativo.

Para conocer el rendimiento preciso de las celdas y si es una solución viable en nuestro proyecto, debemos aplicar las tecnologías en comunicaciones inalámbricas existentes bajo los criterios y limitaciones de los equipos y del proyecto. Para ello se procede a explicar brevemente el funcionamiento de las distintas tecnologías pertenecientes al ámbito de comunicaciones inalámbricas para enlaces de larga distancia, obteniendo así diferentes rendimientos de la solución propuesta.

2.1.1. Comunicaciones inalámbricas

2.1.1.1. Nstreme

El protocolo Nstreme es un protocolo inalámbrico, que posteriormente daría lugar al protocolo NV2, que utiliza Polling como protocolo de acceso al medio correspondiente a la capa MAC. El funcionamiento del protocolo viene ilustrado en la imagen 2.1 como protocolo de acceso al medio correspondiente de la capa MAC. Siguiendo este protocolo, la comunicación entre estaciones base se produce de manera independiente a la comunicación con los nodos cliente. La comunicación entre clientes y estaciones base se realiza utilizando mensajes de señalización, o tokens, con los que las estaciones base conocen el comienzo y final de la transmisión. Si la estación base considera que un nodo cliente no está emitiendo pasará a inspeccionar otro nodo de la red.

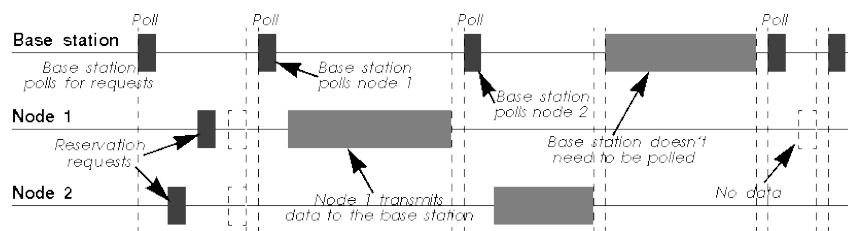


Figura 2.1: Funcionamiento *Polling* en Nstreme

Acorde con esto, las ventajas e inconvenientes del protocolo son:

- No existen limitaciones entre estación base y cliente.
- Baja sobrecarga de cabeceras en las tramas por lo que permite conseguir mayores tasas de envío.
- Retardo por propagación y latencia como consecuencia de usar *Polling*.

2.1.1.2. NV2

El protocolo NV2 es un protocolo inalámbrico, perteneciente a la capa MAC [2], basado en el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) en lugar de *Polling* o acceso múltiple con escucha de señal portadora (CSMA). Este último es el usado más comúnmente por la mayoría de equipos relacionados con el estándar 802.11.

Para explicar el funcionamiento del protocolo NV2, mostrado en la figura 2.2, vamos a suponer un escenario en el cuál nuestra red estará compuesta por una estación base (BS), la

cuál está utilizando el protocolo NV2, y diferentes clientes que comparten BS. El acceso al medio de los clientes estará organizado por la BS, que dividirá el tiempo en períodos. Estos períodos estarán dinámicamente divididos en porciones para *Downlink* (datos enviados desde la BS hacia el cliente) y *Uplink* (datos enviados desde el cliente a la BS). Al comienzo de cada período, la BS mandará un mensaje mediante *broadcast* a los clientes con información sobre en qué momento han de transmitir y del tiempo disponible para ello.

Acorde con lo anterior, la BS de manera periódica asigna una parte del tiempo de Uplink para un "cliente desconocido". Dicho tiempo tiene como objetivo favorecer la integración y comunicación de un nuevo cliente con la red (si lo hubiera). Para ello, la BS estima el retardo que existe entre la misma y el nuevo cliente reajustando el tiempo de Uplink, permitiendo completar el registro y comunicación del nuevo cliente con la red.

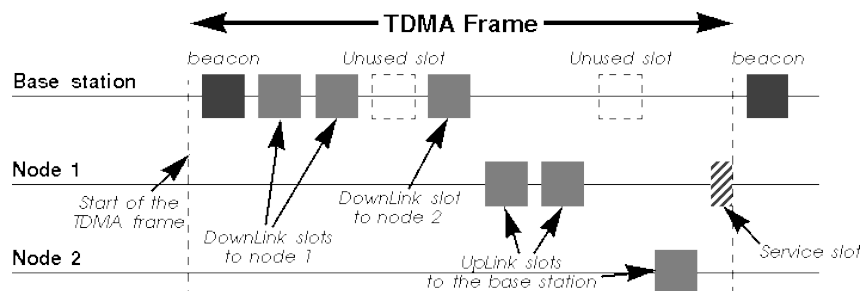


Figura 2.2: Funcionamiento TDMA en NV2

Las ventajas e inconvenientes del protocolo NV2 se detallan a continuación:

- Mejor rendimiento en redes punto a punto (PTP).
- Mayor *throughput* y menor latencia.
- No existe el problema del nodo oculto.
- Únicamente se podrán establecer redes homogéneas al protocolo NV2, en consecuencia podrá existir interferencia entre redes que no usen NV2 y viceversa.

2.1.1.3. WiFi para largas distancias

El protocolo WiFi fue diseñado para uso en zonas urbanas o metropolitanas cuyas bandas de utilización fueran de 2.4 GHz o 5 GHz, en el caso de que estuviéramos en bandas no licenciadas. WiFi utiliza el protocolo CSMA/CA para acceder al medio, lo que implica que no sea del todo satisfactorio en el ámbito de comunicaciones inalámbricas de largo alcance. No obstante, esto no hace que el uso de WiFi se deseché por completo ya que, realizando un pequeño ajuste al funcionamiento del protocolo de acceso al medio y asegurando una línea de visión directa entre los enlaces conseguiremos una solución viable en nuestro contexto.

WiFi es usado principalmente en canales cuyo ancho de banda se corresponde a 20 MHzs. Sin embargo, su uso para canales de 5, 10 y 40 MHzs también es compatible. Adicionalmente la transmisión y recepción de señal existiendo diversidad espacial es posible, ya que la mayoría de equipos están diseñados con antenas duales MIMO 2x2. Otra característica que ofrece WiFi

es su funcionamiento respecto a la agregación de tramas, ya que podemos crear una trama de mayor tamaño manteniendo una única cabecera y siendo capaces de establecer una diferenciación en el tráfico.

Aunque el estándar ofrece mejoras en la capa física, tendremos que tener en cuenta otros parámetros como la potencia de señal recibida (SNR), la modulación y códigos utilizados para obtener una tasa de transmisión óptima en nuestra red. Teniendo en cuenta todo esto, WiFi podría ser una solución viable y sostenible en el marco de nuestro proyecto. Sin embargo, debemos tener en cuenta el rendimiento que ofrece el estándar frente al canal utilizado y su gestión de acceso al medio. Del mismo modo, hay que tener en cuenta la gran distancia existente entre las estaciones y la diversidad climotológica existente a lo largo de la red.

Acorde con el artículo [7], vemos como el rendimiento de WiFi en largas distancias no es del todo óptimo, debido a su uso de CSMA/CA como protocolo de acceso al medio. Por ello, se propone realizar un ajuste en el protocolo y utilizar TDMA. Así obtendremos una mayor eficiencia y evitando contiendas en el medio. Independientemente del protocolo utilizado en la capa MAC, cualquier *hardware* que utilice el estándar 802.11 tendrá las características mencionadas anteriormente. Por tanto, la cuestión es obtener un equilibrio en cuanto a despliegue y rendimiento. Por un lado, deberemos garantizar la línea de visión directa entre radioenlaces de nuestra red, y por el otro lado deberemos proponer una solución viable en lo que a inversión en estructura y equipos se refiere.

2.1.1.4. WiMAX

El estándar WiMAX fue diseñado para su uso en áreas metropolitanas, aunque debido a su funcionamiento existe la posibilidad de utilizarlo en áreas rurales que utilizan banda ancha. Su uso está especialmente dedicado a bandas no licenciadas pertenecientes a 5 GHzs. El protocolo de acceso al medio de este estándar es TDMA y la técnica de transmisión utiliza es OFDM.

La capacidad óptima en un radioenlace que utiliza WiMAX depende entre otros factores, de la modulación que se consiga transmitir, la codificación utilizada, el tamaño de la trama que deseamos enviar y el intervalo de guarda existente entre los símbolos OFDM. Acorde con el artículo [7] las tasas obtenidas si utilizamos WiMAX en enlaces de larga distancia, pueden estar comprendidas entre 1.6 Mbps y 33 Mbps, teniendo en cuenta un envío de 20 tramas por milisegundo. Estos resultados de diversidad y ganancia espacial son similares a los obtenidos con WiFi.

Aunque los sistemas que utilizan los estándares 802.11 y 802.16 en bandas no licenciadas tienen un bajo coste, su despliegue provoca un aumento significativo de los costes: el diseño y construcción de estructuras para enlaces de largas distancias, con el objetivo de mantener línea de visión directa, no es económicamente sencillo. Aparte de esto, la transmisión de potencia en bandas no licenciadas se debe tener en cuenta, pues existen restricciones de límites de potencia,

lo que condicionan la viabilidad de nuestro enlace.

2.2. Monitorización de redes

Para obtener un control total sobre la red es imprescindible conseguir una adecuada monitorización y gestión de la red. Gestionar y monitorizar una red no sólo implica parametrizar los dispositivos que la componen, sino también implica garantizar los niveles de QoS previamente definidos en el diseño.

En nuestra red de *backhaul*, debemos asegurar al menos los niveles de QoS pertenecientes a señalización, tráfico de voz y datos. Entiéndase por nivel de QoS (respecto a la viabilidad del enlace) a la obtención de una tasa mínima de los parámetros *throughput*, *delay*, *jitter* y al porcentaje de paquetes perdidos. Contexto en el que debemos tener en cuenta qué tipos de tráficos van a coexistir y cómo afectan cada uno de ellos al rendimiento total de la red.

A continuación, se detallan tres posibles soluciones (DiffServ, MPLS y MPLS-TE) para gestionar dicho problema y garantizar el mínimo de QoS:

- DiffServ es una arquitectura de red que permite clasificar el tráfico y manejar los diferentes niveles de QoS. DiffServ diferencia los paquetes IP mediante el uso del campo Servicios Diferenciados (DS), que forma parte de la cabecera del paquete, permitiendo así definir diferentes tipos de QoS y prioridades.
Esta arquitectura permite adaptar al comportamiento de la red según el tipo de tráfico, y manejar los diferentes niveles de QoS en función de la prioridad y probabilidad de paquetes desechados. Sin embargo, y como principal desventaja, no es compatible con servicios QoS cuantitativos.
- MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) es un mecanismo de transporte de datos que trabaja sobre la capa de red. El tráfico de datos es identificado mediante una etiqueta, evitando así la necesidad de utilizar la tablas de enrutamiento IP, y asociando a cada tráfico un particular nivel de QoS.
Cada paquete tiene un camino predefinido; ese camino está definido mediante una etiqueta. Dichas etiquetas están distribuidas a lo largo de la red mediante LDP (*Label Distribution Protocol*). Este protocolo permite a los routers involucrados en la red, también denominados *LDP peers*, intercambiar información de manera bidireccional sobre la red, obteniendo así una base de datos LSP (*Label-switched path*) sobre los diferentes caminos existentes y el tráfico existente en cada uno de ellos.
- MPLS-TE es una variación de MPLS. La diferencia con MPLS, y principal característica de TE, es que nos permite realizar conexiones entre nodos finales dentro de la propia red. Estos enlaces internos son denominados túneles y restringen el uso de los recursos compartidos de la red a los circuitos virtual que la forman, creando así una protección mutua entre ellos. Como consecuencia de esto, la distribución del ancho de banda es igual o inferior al total disponible.

Una vez comentados los distintos protocolos de gestión de tráfico, procedemos a detallar algunos de los programas de *software* libre destinados a la monitorización y gestión de redes para el desarrollo del proyecto:

- Nagios Core [4] es un *software* diseñado y desarrollado por la empresa Nagios. Permite monitorizar vía web cualquier infraestructura y dispositivo red, estableciendo un conjunto de reglas basadas en servicios y alertas reportando información sobre el funcionamiento de la red.

Nagios Core ofrece gran variedad de servicios y funcionalidades respecto a la monitorización, siendo capaz de monitorizar servicios red (HTTP, SNMP, POP3, etc...) y recursos de los dispositivos (carga de CPU, temperatura, espacio libre, etc...). Igualmente, existe la opción de autoconfigurar y desarrollar nuestros propios servicios y no sólo utilizar los predefinidos por el fabricante (que aparecen por defecto). También existe la posibilidad de generar notificaciones sobre cualquier servicio, y éstas pueden ser enviadas vía email (u otro método que defina el usuario). Para una configuración personalizada no hacen falta librerías adicionales, ya que la versión Core incluye todas las funcionalidades básicas para la gestión y monitorización de redes. No obstante, se pueden incluir otras funcionalidades como representación de gráficos en un *Dashboard*, exportación de configuraciones o utilización de proveedor de correo externo al de la propia herramienta. Todo esto podremos hacerlo mediante la adición de *plugins* al Core.

- Zabbix [9] es un *software* íntegramente libre desarrollado por Zaabix SIA. Este *software* nos permite monitorizar numerosos parámetros de nuestra red, bien sean servicios (HTTP, SNMP, SSH, etc..) o bien sean parámetros de los dispositivos (uso de CPU, porcentaje uso de CPU, temperatura, etc...) referidos a los servicios y estado de los dispositivos que la componen. Para ello, Zabbix utiliza un sistema de notificaciones configurables, las cuáles pueden enviarse vía email (utilizando cualquier proveedor de correo). Dichas notificaciones nos informarán sobre los sucesos que están ocurriendo sobre los dispositivos red y los servicios configurados.

En orden con lo anterior, Zabbix permite editar y configurar diferentes tipos de notificaciones y alertas sin necesidad de añadir nada a la herramienta. Además de esto, el reporte de datos es periódico y no sólo de manera numérica sino de forma gráfica (dichas gráficas también pueden ser configurables). Del mismo modo, existe la posibilidad de almacenar todo los datos reportados procedente de los dispositivos que forman la red en bases de datos (MySQL, SQLite, PostgreSQL o Oracle).

- Pandora OpenSource [5] es un *software* de gestión y monitorización desarrollado por la empresa Pandora FMS Enterprise que proporciona una solución capaz de monitorizar cualquier infraestructura de red asegurando que todos los elementos de la red estén funcionando bajo los criterios de operación establecidos. Esto es debido a la información procedente de los dispositivos de la red al realizarse pruebas sobre ellos, ya sea de manera remota o mediante un agente.

La versión libre de este software permite monitorizar y gestionar parámetros referentes a los servicios de red estándar TCP/IP y valores relacionados con el hardware de los equipos gracias a un sistema de eventos. Este sistema obtiene la información al producirse cualquier evento en la red. Al basarse en dicha funcionalidad, el usuario puede validar los eventos y agruparlos según la distribución de la red. Debido a esto el software utiliza una monitorización combinada en grupos, lo que quiere decir que, según el grupo en el que se encuentre un dispositivo, sus alertas y su configuración de servicios serán diferentes al resto.

Una vez introducidos diferentes tipos de *software* en gestión y monitorización de redes procedemos a analizar cuál de ellos encaja mejor en el marco de nuestro proyecto según las diferentes limitaciones y requisitos.

En primer lugar, nuestro *software* debe ser capaz de monitorizar todos los requisitos mínimos para garantizar un cierto nivel de QoS. Además de esto es conveniente que exista cierta flexibilidad a la hora de modificar y añadir notificaciones en los diferentes equipos, así como la posibilidad de recibir y enviar dichas notificaciones al usuario mediante email, o cualquier método similar. Del mismo modo, el *software* debe tener una integración sencilla sobre nuestra infraestructura de red.

En segundo lugar, la obtención y representación de datos de forma dinámica es una parte importante que la herramienta ha de tener. Lo deseable es que la infraestructura de red sea autogestionable y plenamente monitorizable por el propio *software*, es decir, tratar de que cualquier servicio y parámetro pueda ser representado de manera concreta para otorgar al usuario la información adecuada para interactuar, si fuera necesario, con la red.

En tercer lugar, nuestro *software* ha de ser flexible en cuanto a escalabilidad de dispositivos y configuración de notificaciones, puesto que nuestra red es extensa y heteréognea en cuanto al número de equipos y su uso. Otro requisito a tener en cuenta es que debe cumplir con un sistema de negocio viable, ya que el proyecto tiene limitada la inversión económica y es muy deseable utilizar un software cuya prestación sea total a coste cero.

Teniendo en cuenta todo lo comentado anteriormente, la solución propuesta para el proyecto es Zabbix.

Zabbix permite una fácil integración y monitorización de la red, permitiendo al usuario administrar los dispositivos y configurar los servicios de manera sencilla sin excesiva complejidad. Gracias a su interfaz gráfica podemos obtener en todo momento una representación en tiempo real del estado de los dispositivos, así como de los requisitos pertenecientes al QoS. Dichos datos pueden ser almacenados en bases de datos y exportados a ficheros. Por un lado, Zabbix no sólo permite al usuario definir dispositivos, sino que existe la posibilidad agruparlos en diferentes categorías, otorgando la opción de realizar una gestión individualizada o colectiva, según desee el usuario. Por otro lado, se pueden crear servicios mediante un fichero XML y vincularlo con el dispositivo deseado, configurando alertas y notificaciones personalizadas.

Capítulo 3

Metodología

En este capítulo se explicará todo lo relacionado con la metodología utilizada en este Trabajo Fin de Grado. Con el objetivo de encontrar una solución sostenible, flexible en términos de negocio y que sea capaz de amoldarse a las especificaciones y criterios del proyecto.

En primer lugar, se realizará una introducción a los equipos utilizados en el proyecto tanto a nivel software como hardware. Se detallarán las especificaciones técnicas y características de los equipos, así como su motivación para ser usados en este proyecto. De la misma manera se explicará el funcionamiento del software de configuración disponible en los equipos.

En segundo lugar, se realizarán pruebas a nivel de laboratorio utilizando configuraciones similares a las utilizadas en el marco del proyecto Napo. Siguiendo un escenario base de laboratorio, se analizará el rendimiento de los equipos a nivel de red, utilizando para ello herramientas cuya funcionalidad será la inyección de tráfico simulado. De forma paralela se utilizará la solución propuesta en el capítulo 2 para realizar la gestión y monitorización de redes sobre el escenario red disponible en laboratorio.

3.1. Equipos Mikrotik: NetMetal 5

Los equipos NetMetal 5 son dispositivos pertenecientes a la familia de RouterBOARDS diseñadas y comercializadas por la empresa MikroTik [3]. Dicha empresa, se dedica al desarrollo de sistemas hardware y software inalámbricos en variedad de países a lo largo del mundo. El uso de sus equipos está extendido a nivel mundial debido a su bajo coste y a su alto rendimiento en sistemas de telecomunicaciones inalámbricas.

3.1.1. Hardware

Los equipos NetMetal disponen de un procesador MIPSBE que opera a 720MHz y un recubrimiento hecho de aluminio y metal, su aspecto se muestra en la figura 3.1, lo que permite un gran rendimiento en zonas donde existen condiciones climatológicas adversas. El equipo está formado por tres puertos cuya funcionalidad es: la conexión de antenas externas en dos de

ellos (permitiendo el uso de MIMO), y un terminal POE en el que se encuentran las entradas para la conexión mediante ethernet y la fuente de alimentación.



Figura 3.1: Dispositivo NetMetal 5

Existe una variante en los equipos, el cual en vez de proporcionar tres entradas para antenas externas únicamente proporciona dos entradas. Los equipos NetMetal 5 son capaces de alcanzar altas tasas de transmisión en comunicaciones inalámbricas de larga distancia, gracias al uso del estándar 802.11ac y su eficiencia en cuanto al uso de los canales de 20/40/80 MHzs. Este hecho añadido a su robustez hacen de los equipos una elección idónea para el contexto del proyecto. Para llevar a cabo este Trabajo Fin de Grado, se han utilizados dos equipos NetMetal 5 como escenario de laboratorio.

3.1.2. Software

El sistema operativo que utilizan los equipos es RouterOS, propietario de MikroTik. Dicha distribución nos permite acceder al dispositivo de manera sencilla y configurar el equipo acorde al escenario requerido. Además de realizar configuraciones en cuanto a los parámetros deseados, el sistema operativo ofrece herramientas para la realización de pruebas a diferentes niveles de conectividad entre equipos. Los datos obtenidos, pueden ser procesados y representados de forma gráfica en tablas, diagramas y ficheros de texto. Independientemente de un formato u otro existe la posibilidad de exportar estos datos.

Así mismo los equipos permiten exportar e importar las configuraciones realizadas siendo esto de gran utilidad a la hora de replicar una configuración en diferentes equipos. Por último este sistema operativo es compatible con cualquier distribución para PC, ofrece más de una variante para utilizar y configurar los equipos, ya sea mediante línea de comandos, interfaz web o utilizando la aplicación WinBox que se detalla a continuación.

3.1.2.1. WinBox

WinBox permite conectar los equipos de manera rápida y sencilla a través de su dirección IP o MAC, tal y como se muestra la siguiente figura 3.2. La configuración de usuario e IP vienen predeterminadas por el fabricante.

Una vez logueado dentro del equipo, tal y como se muestra en la figura 3.3, aparecen multitud de paneles y menús los cuáles nos servirán para configurar los equipos, ya sea en cuestiones de seguridad, creación de redes, configuración de interfaces, etc... Aparte de modificar la configuración que se establece predeterminada, WinBox ofrece la posibilidad de realizar mediciones para determinar el rendimiento de los equipos, como por ejemplo el número de paquetes enviado durante una transmisión.

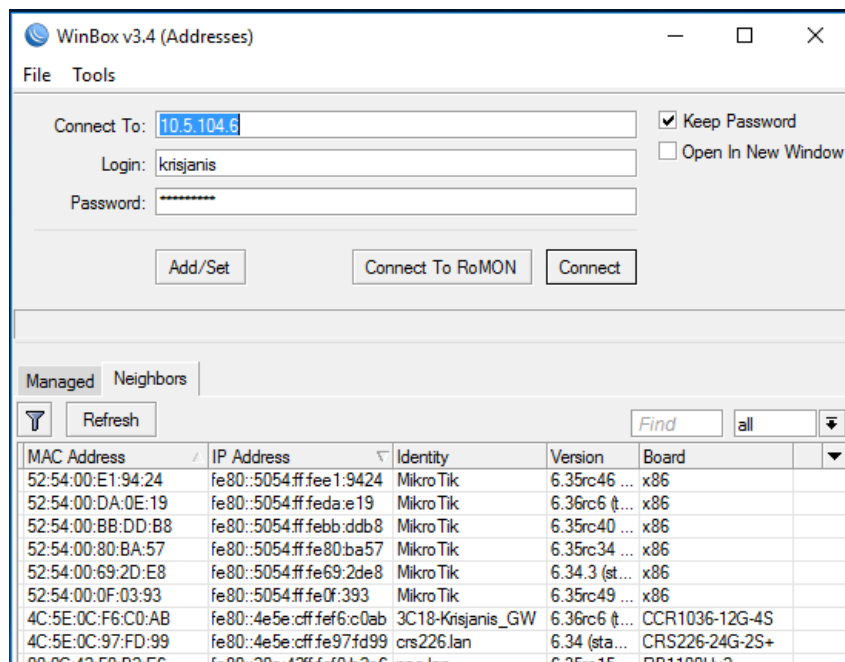


Figura 3.2: Pantalla logging en WinBox

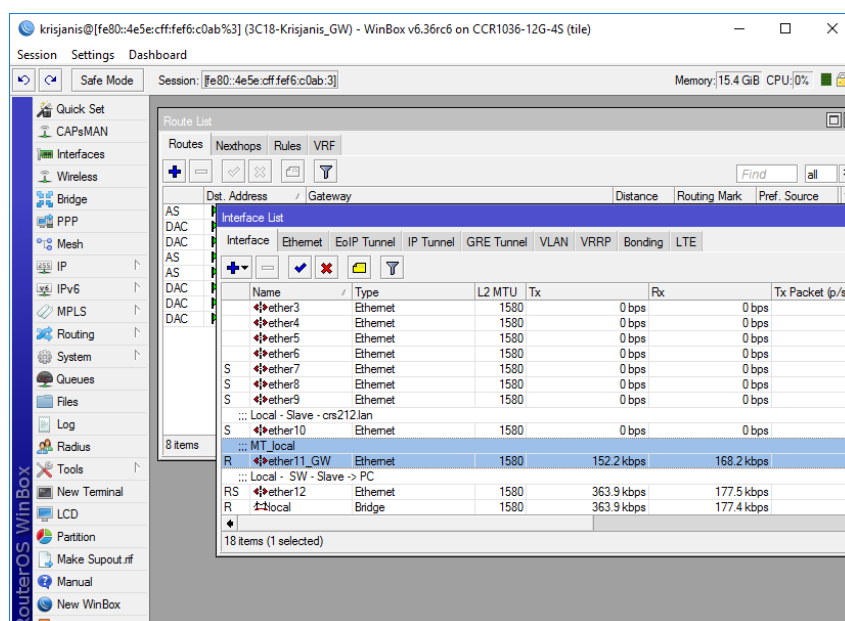


Figura 3.3: Pantalla principal en WinBox

Al igual que la herramienta web, WinBox ofrece la posibilidad de utilizar una terminal compatible con el equipo y sistema operativo RouterOS. Dicha funcionalidad permite introducir y modificar las configuraciones existentes en los dispositivos, así como visualización de parámetros y realización de pruebas utilizando las herramientas integradas que posee el sistema operativo.

3.2. Configuración y diseño de la red

Antes de realizar el montaje del escenario y realización de pruebas en laboratorio, debemos realizar un diseño y estudio sobre la red. Dicho análisis nos permitirá conocer de forma más detallada los diferentes factores que pueden comprometer la viabilidad de los diferentes enlaces que componen la red, y así ajustar la configuración de los equipos a dichos factores para garantizar el objetivo y requisitos predefinidos en el proyecto.

Tras la conclusión de la parte correspondiente al estudio y diseño de la red, realizaremos nuestras simulaciones a nivel de laboratorio. El objetivo de esto, será establecer una comparación con los resultados obtenidos en la fase de estudio, para ello dispondremos de los equipos NetMetal 5 y ordenadores cuya distribución será Linux. Ya que los sistemas operativos pertenecientes a dicha distribución, otorgan facilidades a la hora de instalar y manejar los programas necesarios para la realización de pruebas. Las pruebas llevadas a cabo determinarán el rendimiento que ofrecen los equipos NetMetal 5 en lo que a conectividad y parámetros de calidad se refiere.

3.2.1. Estudio previo

En esta sección procederemos a realizar un estudio de forma cuantitativa con el objetivo de conocer cual sería el *throughput* obtenido de forma teórica, por cada uno de los radioenlaces que forman la red del Napo. Para ello utilizaremos los valores empíricos obtenidos en el artículo [7] recogidos en la tabla número 7, pertenecientes al uso del protocolo NV2.

Por una parte, los valores presentes en dicha tabla corresponden a medidas de capacidad en radioenlace para una distancia de 0 Km (medidas en laboratorio) y una distancia de 30 Km, las medidas fueron llevadas a cabo desde la modulación MCS0 hasta MCS15 para la mayoría de casos, salvo en las mediciones de 30 Km, que para valores superiores a MCS11 no se pudieron realizar pruebas empíricas. No obstante, sólo nos apoyaremos y tomaremos como referencia los valores comprendidos entre la modulación MCS8 y MCS11 ya que son las modulaciones destinadas para el uso de MIMO.

Por otra parte, dichas medidas corresponden a la utilización de 20 Mhz como ancho de banda, para poder establecer una relación con el ancho de banda utilizado en el proyecto se procederá a duplicar los valores obtenidos a 20 Mhz. Obteniendo así una aproximación de los valores teóricos que deberían ser obtenidos de forma empírica para un ancho de banda de 40 Mhz; una vez concluida la parte teórica se contrastarán dichos valores con los obtenidos en laboratorio y se procederá a realizar un análisis más exhaustivo.

Para poder llevar a cabo el estudio teórico, se han recogido los valores antes mencionados y se han organizado en pares de coordenadas obteniendo un conjunto de datos que establecen una relación entre: la distancia, *throughput*, y el valor de la modulación MCS utilizado. Una vez acondicionados los datos se ha proyectado una recta lineal entre los puntos pertenecientes a cada MCS respecto a las coordenadas base de 0 Km y 30 Km, con el objetivo de obtener una recta que pase por todos los puntos de interés de nuestra red, tal y como muestra la figura 3.4, permitiendo establecer así una aproximación teórica de la capacidad del enlace en función de la distancia.

De forma paralela, en base a la obtención de las rectas respecto a cada MCS hemos podido realizar una estimación de la capacidad teórica que debería de existir para cada radioenlace, dicha estimación se muestra en la figura 3.5. Para llevar a cabo todo el estudio teórico y todo el desarrollo comentado anteriormente, se ha utilizado el script 97, que está desarrollado en el lenguaje de programación Python, ya que permite la integración de módulos y librerías de análisis matemático de forma sencilla.

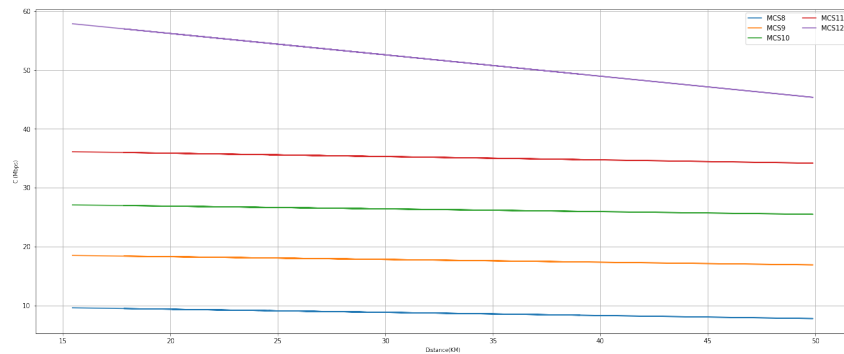


Figura 3.4: Rectas lineales utilizando valores de 0 Km y 30 Km como coordenadas base

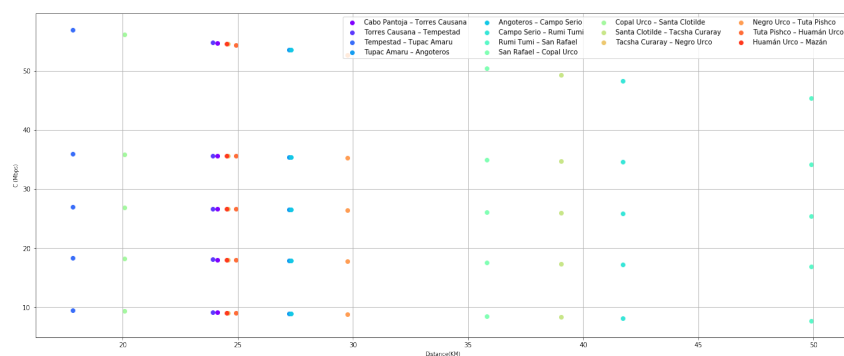


Figura 3.5: Capacidad del canal teórica respecto a la distancia para cada MCS con NV2

Los valores obtenidos y representados corresponden a las modulaciones comprendidas entre MCS8 y MCS12, no obstante el interés de este estudio es determinar cuál sería la modulación mínima utilizable de forma teórica en la red del Napo, asegurando así esa capacidad mínima definida de 44 Mbps por radioenlace. Cómo se ha comentado al inicio del capítulo se realizó

una estimación para el ancho de banda correspondiente al proyecto, doblando los valores de *throughput* existentes en las coordenadas base.

En conclusión a este análisis teórico y aproximación analítica, la tabla 6.4 recoge los datos obtenidos, los cuáles reflejan que para cumplir con los requisitos necesarios de la red cada radioenlace debe utilizar una modulación MCS10.

3.2.2. Estudio con RadioMobile

Una vez desarrollado el estudio teórico sobre la red, nuestro siguiente paso será realizar una representación simulada con el objetivo de obtener más información sobre la viabilidad de enlace relativa a los emplazamientos del proyecto. Para ello, utilizaremos los datos de geolocalización y distancia relacionados con los emplazamientos de la red del Napo los cuáles se encuentran en las tablas 6.3 y 6.2, para introducirlos en la herramienta RadioMobile y crear así nuestra red simulada. Junto a la localización geográfica y altura de cada emplazamiento tendremos que configurar los principales parámetros de la red y de los equipos en la herramienta, esta combinación nos permitirá obtener una aproximación sobre la calidad del enlace en términos generales e individuales de la red. A continuación se detallan las características de los sistemas insertados en la herramienta para llevar a cabo la simulación:

- Potencia de transmisión: 32 dBm
- Sensibilidad en recepción: -96 dBm
- Pérdidas por cable: 1,5 dB
- Ganancia de antena: 30 dBm
- Tipo de antena: Omnidireccional
- Frecuencia: 5260 MHzs

Una vez configurado los parámetros y características de los sistemas, obtenemos una representación simulada de la red tal y como se muestra en la figura 3.6. Dicha simulación está sujeta al modelo *Longley-Rice* que utiliza la variabilidad de tiempo, posición y situación para realizar los cálculos respecto al balance de enlace.

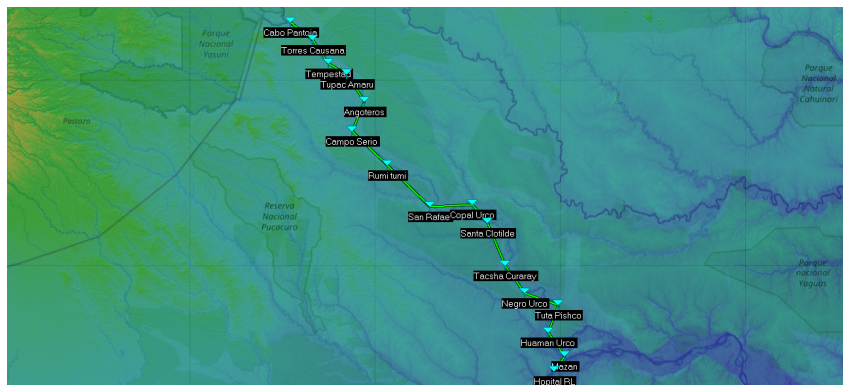


Figura 3.6: Representación de la red del Napo en RadioMobile

La funcionalidad *Radio Link* que se encuentra dentro de RadioMobile, nos permite obtener una representación simulada del estado de cada radioenlace a través de la recreación del perfil geográfico y configuración de los sistemas involucrados en el enlace. Esto nos permite conocer los niveles de pérdidas, sensibilidad en recepción y margen dinámico de cada sistema de forma individual a través de la realización del balance de enlace. Dicho balance de enlace nos proporcionará información respecto a la sensibilidad y potencia en transmisión y recepción, para poder establecer la mínima tasa de transmisión soportada siempre y cuando, cumpla con los requisitos de viabilidad de enlace mencionados al principio de este Trabajo Fin de Grado.

Para poder obtener una tasa mínima que cumpla los requisitos de transmisión mínimos mencionados en el capítulo de introducción, debemos tener en cuenta el tipo de tecnología que estamos utilizando. En nuestro caso, las transmisiones pertenecientes a la nueva red del Napo se realizarán utilizando la tecnología *Multiple Input Multiple Output*, junto al uso de NV2 como protocolo de acceso al medio. La utilización de MIMO hace que nos centremos en los valores pertenecientes a las MCS cuyos valores están comprendidos entre MCS8 y MCS15, dichas MCS a su vez están formadas desde una constelación BPSK (formada por dos símbolos) hasta una 64-QAM (formada por 64 símbolos). Para poder establecer una comparación entre la modulación adecuada por cada radioenlace tendremos que comparar la sensibilidad en recepción de cada sistema obtenido mediante la simulación, con los valores típicos de sensibilidad para dichas MCS.

Los valores obtenidos a través de la simulación por cada radioenlace y los valores respecto al protocolo NV2 en términos de sensibilidad han sido recogidos en las siguientes tablas:

En conclusión habiendo estudiado las diferentes situaciones y analizado las características de los radioenlaces cuyos resultados se recopilan en la siguiente tabla. En función de los valores obtenidos en la simulación y, teniendo en cuenta los resultados conseguidos mediante el estudio teórico previo, podemos destacar lo siguiente:

- Existe línea de visión directa en la mayoría de casos, lo que implica asegurar la zona de Fresnel mínima para la viabilidad del enlace, en nuestro caso un sesenta por ciento.
- Habiendo analizado cada balance de enlace de forma individual podemos realizar una extrapolación para el total de la red, asegurando así un margen dinámico que garantice la viabilidad del enlace. En el caso del diseño inicial dicho margen dinámico era de 20 dB, por tanto habiendo contrastado los datos obtenidos con la simulación no existe compromiso respecto a la viabilidad de enlace en cada punto de la red.
- En base al estudio analítico hecho, para asegurar la total funcionalidad de la red, habría que utilizar un MCS10 como mínima para alcanzar una capacidad de enlace suficiente y necesaria.

3.2.3. Configuración de equipos

Para poder recrear en laboratorio un escenario punto a punto de similares características a los de la red del Napo, utilizaremos dos equipos NetMetal 5 y dos portátiles con distribuciones Linux. Los ordenadores portátiles actuarán de emisor y receptor en nuestra red local junto a los equipos NetMetal 5 que interconectarán dichos terminales finales entre sí, como se muestra en la figura 3.7. Para obtener valores relacionados con los parámetros de QoS se inyectará tráfico con la herramienta Iperf y Bandwidth test, utilizando uno de los portátiles como cliente y otro como servidor.

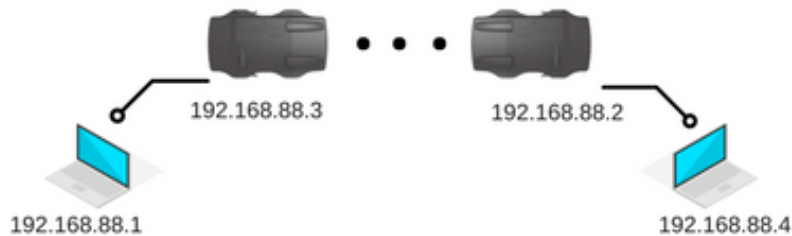


Figura 3.7: Escenario de laboratorio punto a punto

Antes de comenzar a detallar como se ha realizado la configuración a nivel de laboratorio de los equipos, debemos apuntar qué, en nuestro caso las antenas utilizadas son dipolos elementales colocados en posición vertical y horizontal transmitiendo forma multimodal, en el caso del proyecto Napo cada radioenlace constará de una antena parabólica colocada en lo alto de una infraestructura metálica, cuya ganancia de transmisión está en torno a los 30 dB.

3.3. Inyección de tráfico simulado

Para conocer el rendimiento y prestaciones de los equipos realizaremos pruebas a nivel de red a través de la inyección de tráfico simulado. Para llevar a cabo dicha prueba, utilizaremos el software disponible para los sistemas operativos de distribución Linux Iperf y la herramienta de medida de ancho de banda proporcionada por MikroTik Bandwidth test, las cuáles se detallan brevemente a continuación.

3.3.1. Iperf

Iperf [1] es una herramienta que permite realizar mediciones sobre el máximo rendimiento alcanzable respecto al ancho de banda y la calidad de un enlace red. Esto es posible mediante el análisis y recopilación de datos referentes a los protocolo de red TCP y UDP. Existe la variante Jperf, cuya única diferencia es la utilización de una interfaz gráfica en lugar de la entrada estándar de comandos.

La herramienta puede ser utilizada en modo cliente o en modo servidor, permitiendo realizar pruebas sobre la red hasta obtener los valores óptimos sobre la misma, tal y como se muestra en la figura 3.8.

Esto es gracias al ajuste y modificación de parámetros que permite la herramienta: según sea nuestro escenario y el objetivo de nuestras pruebas, podremos obtener un tipo específico de datos u otros. La elección de los parámetros de la herramienta será diferente según el protocolo de red (TCP o UDP) que utilicemos en cada caso. A continuación detallamos las posibilidades que ofrece en base a cada uno de ellos:

En primer lugar explicaremos los parámetros relacionados al protocolo UDP, el cual nos permite seleccionar un ancho de bando específico en nuestra comunicación y permite utilizar multidifusión si fuera necesario. Además, los datos reportados por la herramienta en este caso son los relacionados con la pérdida de paquetes, ya sea en cuantía o en porcentaje, y las medidas relacionadas con el jitter y retardo.

En segundo lugar, los parámetros configurables respecto a TCP están relacionados con la elección de un tamaño de ventana TCP fijo para la comunicación, otorgando datos respecto al ancho de banda medido en la comunicación y el tamaño MSS/MTU.

```
node1> ./iperf -c node2 -w 300k
-----
Client connecting to node2, TCP port 5001
TCP window size: 299 KByte (WARNING: requested 300 KByte)
-----
[ 3] local <IP Addr node2> port 6902 connected with <IP Addr node1> port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 3] 0.0-10.2 sec  20.9 MBytes 16.4 Mbits/sec
```

Figura 3.8: Log obtenido al realizar una prueba con Iperf

3.3.2. Bandwidth test

Bandwidth test es la herramienta desarrollada por el fabricante que nos permite realizar medidas entre equipos MikroTik en lo que a *throughput* se refiere. Dicha herramienta está disponible tanto para la interfaz web, cómo para la consola.

Para llevar a cabo dicho test, debemos configurar uno de los routers que forman la red en modo servidor, y el resto en modo cliente, además la herramienta nos proporciona una serie de parámetros configurables respecto a la red activa tales cómo: dirección, duración, tamaño de paquete, etc...

En función de estos parámetros el resultado de la prueba será de un modo u otro, y nos proporcionará los valores deseados respecto a el número de paquetes perdidos, velocidades medias y totales en recepción y transmisión de la conexión activa. A continuación, en la figura 3.9 se muestra un ejemplo del log obtenido al realizar una prueba utilizando la herramienta mencionada anteriormente.

```
[admin@MikroTik] /tool> bandwidth-test 10.0.0.32 duration=15s \  
\... direction=both local-udp-tx-size=1000 protocol=udp \  
\... remote-udp-tx-size=1000 user=admin  
      status: done testing  
      duration: 15s  
      tx-current: 272.8Mbps  
tx-10-second-average: 200.3Mbps  
tx-total-average: 139.5Mbps  
rx-current: 169.6Mbps  
rx-10-second-average: 164.8Mbps  
rx-total-average: 117.0Mbps  
lost-packets: 373  
random-data: no  
direction: both  
tx-size: 1000  
rx-size: 1000  
[admin@MikroTik] /tool>
```

Figura 3.9: Log obtenido al realizar una prueba sobre un enlace MikroTik activo

3.3.3. Configuración y realización de pruebas

3.4. Monitorización y gestión: Zabbix

En esta sección se explicará la integración llevada a cabo con el escenario configurado en laboratorio y el *software* de monitorización Zabbix. Así mismo, se procederá a explicar de manera más detallada el funcionamiento de la herramienta seleccionada en el marco contextual definido al inicio de este Trabajo Fin de Grado.

Antes de realizar la configuración del escenario formado en laboratorio, se procede a explicar cómo se va a llevar a cabo la integración de Zabbix y dicho escenario. Esto se llevará a cabo mediante el uso de plantillas XML y el protocolo SNMP el cual, nos permite intercambiar información entre los dispositivos involucrados.

El protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*) es un protocolo que corresponde con la capa de aplicación y facilita el intercambio de información administrativa entre los dispositivos que componen una red, ya sean *routers*, *switches*, etc... Este protocolo facilita a los administradores de red conocer en todo momento el estado de la red, así como la posibilidad de interactuar con la misma tomando acciones de prevención, resolución de problemas y estudio sobre escalabilidad.

Para lograr esto, SNMP accede a la MIB (*Management Information Base*) de los equipos. La MIB es una colección de información referente al equipo organizada de forma jerárquica mediante un árbol, para llevar a cabo una eficiente búsqueda y consulta de los objetos que se encuentran dentro del árbol, se organizan en subconjuntos denominados organizaciones.

Cada objeto, denominado OID (*Object Identifier*) contiene un valor asociado al parámetro que representa, ya sea en formato de cadena de caracteres o en formato numérico, para conseguir dicho valor se ha de realizar una búsqueda descendente del árbol que forma la MIB, ya sea bien utilizando la nomenclatura numérica que tiene cada organización seguida de un punto (1.3.6....) o bien utilizando el nombre de cada organización seguido de un punto (iso.identified....). Ambos métodos permiten recuperar el valor del parámetro deseado y utilizarlo en nuestra integración.

Así mismo, el funcionamiento de SNMP involucra a los siguiente agentes:

- Sistema administrador: Capaz de ejecutar aplicaciones (comandos) capaces de controlar los dispositivos involucrados en la red, proporcionando métricas útiles para el administrador en cuanto a los recursos del equipo.
- Dispositivo administrado: Equipo que contiene el agente SNMP y forma parte de la red recogiendo información usando el protocolo SNMP.
- Agente SNMP: Permite realizar una administración de la forma otorgada por el equipo de manera local y jerarquizarlo en forma de árbol y en un formato compatible al intercambio de información usando dicho protocolo.

SNMP no sólo nos permite recorrer el árbol MIB y obtener información de los equipos, sino que mediante aplicaciones (comandos), es posible realizar simples operaciones sobre la estructura jerarquizada de los equipos, dichos comando se describen a continuación:

- Lectura/Escritura: Permiten al administrador leer/modificar los valores de las variables almacenados dentro de los dispositivos.
- Notificación: Permite a los equipos reportar eventos de manera asíncrona al administrador.
- Transversales: Permiten a los equipos recolectar información de los elementos cercanos en la red y conformar tablas relacionadas a la información obtenida.

3.4.1. Integración de escenario

Una vez explicado todo lo que implica el uso de SNMP y la jerarquización de los objetos existente en los equipos y cómo es posible realizar consultas a dichos objetos, procedemos a explicar cómo se va a integrar la información procedente de los equipos con Zabbix. Una de las facilidades que nos ofrece la herramienta es que podemos crear *items* tal y como se muestra en la figura 3.10, aprovechando la información que nos proporcionan los OIDs en función de los parámetros que deseamos monitorizar. Para ello deberemos seguir el estándar XML, utilizando una plantilla como la mencionada antes e importarla en el sistema. De igual forma, que podemos importar datos existe la posibilidad de exportarlos, ofreciendo así versatilidad a la hora de integrar cualquier equipo en un sistema diferente. En el marco del proyecto los principales parámetros de interés son los referentes a salud de los equipos (carga CPU, temperatura, etc...) y a tráfico obtenido.

```

<name>Used memory</name>
<type>1</type>
<snmp_community>public</snmp_community>
<multiplier>1</multiplier>
<snmp_oid>.1.3.6.1.2.1.25.2.3.1.6.65536</snmp_oid>
<key>mikrotik.memory.used</key>
<delay>30</delay>
<history>90</history>
<trends>365</trends>

```

Figura 3.10: Ejemplo de configuración de un item sobre XML en Zabbix

Una vez cargados los dispositivos involucrados en la plataforma, Zabbix ofrece varias herramientas para realizar un seguimiento sobre dichos elementos y otorgar control total sobre ellos al administrador, como por ejemplo configurando *dashboards* de seguimiento, alertas sobre equipos, creación de mapas de redes, etc... A continuación se procede a detallar algunas de las aplicaciones utilizadas en este Trabajo Fin de Grado cuyo objetivo es monitorizar y obtener un control total de la red:

En primer lugar, nos hemos centrado en la representación gráfica del rendimiento que otorgan los equipos a nivel de red, para ello, hemos utilizado la aplicación que ofrece la propia herramienta que permite realizar gráficas a nivel de interfaz, como se muestra en la figura 3.11, una aplicación interesante de estas gráficas es que se puede realizar un tablero configurable conjunto, es decir, integrar dicha gráfica (o similares) de diferentes dispositivos en un único tablero, otorgando así al administrador una visión global del tráfico entrante y saliente de la red en conjunto.

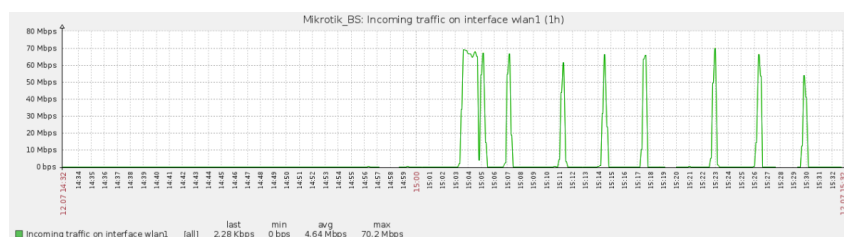


Figura 3.11: Ejemplo de representación gráfica de tráfico mostrado en un Dashboard de Zabbix

En segundo lugar, Zabbix ofrece alertas configurables en función de los *items* cargados en la plantilla XML tal y como se muestra en la figura, esto quiere decir que la herramienta ofrece *triggers* configurables, ya sea bien de forma predeterminada o personalizada, que permiten establecer valores umbral para los diferentes niveles de alerta que ofrece la herramienta, generando así una categorización de problemas y otorgando al administrador una versión prioritaria de la acción que ha de ser tomada. Las alertas no son configuradas únicamente si el programa se está ejecutando en primer plano, Zabbix ofrece una extensión llamada PostFix [6] que permite integrar y configurar alertas para que sean enviadas mediante email. De igual forma, Zabbix mantiene un archivo histórico de logs el cual otorga cierta ventaja a la hora de actuar al administrador, ya sea en labores de mantenimiento de la red o bien en labores predictivas.

STATUS OF ZABBIX		
Parameter	Value	Details
Zabbix server is running	Yes	localhost:10051
Number of hosts (monitored/not monitored/templates)	43	3 / 0 / 40
Number of items (monitored/disabled/not supported)	197	191 / 0 / 6
Number of triggers (enabled/disabled) [problem/ok]	70	70 / 0 [0 / 70]
Number of users (online)	2	1
Required server performance, new values per second	5.44	-

Figura 3.12: Ejemplo del estado de la red en Zabbix

Por último, otra aplicación interesante en el marco del proyecto es la creación de mapas de red, como muestra la figura 3.13, la cual permite al administrador no sólo jerarquizar los equipos en función de nombres o por IPs, si no que otorga la posibilidad de subdividir una red total en subredes de forma que puedan aislarse cada una de ellas en subconjuntos, consiguiendo así un análisis más rápido y eficaz que si tuviera que realizarse de toda la red en conjunto. Aparte de esto, subdividir las redes proporciona la capacidad de asignar cada subred a un grupo de técnicos determinado evitando así que la gestión de una única subred involucre al resto de la misma.

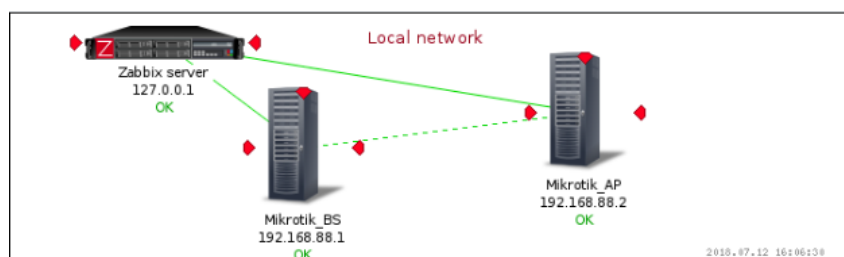


Figura 3.13: Ejemplo de jerarquización de redes en Zabbix

En definitiva y reuniendo todo lo explicado a lo largo de este capítulo, Zabbix no sólo es una solución que cumple con los requisitos mínimos de monitorización de redes requeridos en el proyecto, si no que su amplia variedad de integraciones y aplicaciones. Zabbix no sólo permite una fácil integración con los dispositivos físicos mediante el uso de plantilla XML y protocolo SNMP, si no que también ofrece una solución a todo lo referido con *software* de terceros. Todo esto a partir de la editabilidad de la mayor parte su funcionalidad básica para hacer que el administrador de redes tenga la mayor cantidad de información sobre los equipos, concentrada de tal forma que su actuación se inminente y precisa si esta fuera requerida.

Capítulo 4

Resultados obtenidos

En este capítulo se expondrán los datos y conclusiones obtenidos durante la realización de este Trabajo de Fin de Grado. Para llevar a cabo el desarrollo de este capítulo, no sólo se ha tenido en cuenta los resultados y pruebas realizados en entornos simulados, sino que también los aportados por la PUCP. Dichos datos aportados por la PUCP se componen de resultados y configuraciones realizadas en el entorno real del río Napo.

Por un lado se expondrán los datos obtenidos en el entorno simulado, es decir utilizaremos la configuración y herramientas mencionadas en el capítulo 3 para realizar las pruebas respecto a la tasa de transmisión y recepción de los equipos. De forma complementaria se utilizará la herramienta *RadioMobile* para obtener una representación de la red obteniendo una estimación del balance de enlace de la red.

Por otro lado se recogerán los valores proporcionados por la PUCP durante la realización de pruebas y se contrastarán con las medidas obtenidas en laboratorio. Cabe destacar que las pruebas mencionadas sólo han podido realizarse en un conjunto de radioenlaces determinados. Dichos enlaces son los comprendidos entre Santa Clotilde e Iquitos.

Por último y como objetivo final de este capítulo, se tratará de explicar ambos conjuntos de datos para así poder realizar un análisis del estado de cada radioenlace perteneciente a la red del Napo, teniendo en cuenta el objetivo explicado en el capítulo 1.

4.1. Análisis de resultados

Para llevar a cabo el desarrollo y análisis de los resultados hemos tomado como configuración referencia los valores proporcionados por la PUCP, los cuáles se detallan a continuación:

- Tiempo de la observación: 25 segundos.
- Modulación empleada: MCS10
- Frecuencia: 5805 Hz

- Estándar: 802.11n
- Ancho de banda: 40 MHzs

De igual forma se ha utilizado la herramienta propuesta por la PUCP, que en este caso es la propietaria de *MikroTik* descrita en el capítulo 3. Para llevar a cabo las pruebas respecto a la capacidad de cada radioenlace utilizaremos el siguiente comando en la terminal de los equipos, que está compuesto por los siguientes parámetros: dirección destino, sentido de la comunicación y tiempo de observación:

```
tool bandwidth-test xx.xx.xx.xx direction=both duration=25
```

Una vez concretado los parámetros y configuraciones base de las pruebas que vamos a realizar, es necesario conocer los valores que se han obtenido en las pruebas de campo y contrastarlos con los valores teóricos que hemos obtenido con la simulación. En este caso aparte de los valores respecto a la capacidad del enlace, es importante conocer la potencia en recepción que está recibiendo cada radioenlace y analizar si dichos valores carecen o no de sentido. Por tanto, en primer lugar haremos un primer análisis tomando como referencia los datos obtenidos en simulación y en campo respecto a la potencia de señal recibida y en segunda lugar realizaremos un análisis similar, salvo que en este caso el objeto de análisis será la capacidad del enlace.

Para poder realizar una comparación coherente entre los datos aportados utilizaremos, por un lado los datos teóricos respecto a la sensibilidad mínima necesaria para cada modulación utilizando el protocolo NV2, tal y como se muestra en la tabla 6.9. Y por otro lado, los datos obtenidos de la simulación hecha con *RadioMobile* y los valores proporcionados por los equipos durante la realización de pruebas, que se muestran en la tabla 6.10.

En este caso nos interesa centrarnos en el valor correspondiente a la modulación MCS10 ya que es la cual ha sido utilizada para realizar pruebas. Dicha modulación tiene una sensibilidad mínima de -90 dBm, por tanto para asegurar un correcto rendimiento del enlace utilizando esa modulación cada radioenlace debe estar por encima de dicho valor. Como vemos, para los valores teóricos y empíricos de los radioenlaces comprendidos entre Cabo Pantoja e Iquitos se cumple, por tanto podemos utilizar la modulación MCS10 para transmitir.

De igual forma los valores simulados han sido obtenidos teniendo en cuenta los parámetros tiempo y situaciones que ofrece *RadioMobile*, los cuáles son editables y en este caso han sido fijados con valores de 99 % y 80 %, respectivamente. La edición de estos parámetros implica una variación en los niveles de señal medio afectando de manera directa en las condiciones estadísticas que definen al modelo. En resumen, esto se traduce a que durante el 80 % del tiempo la atenuación no excederá el valor que obtengamos, al menos, un 99 % del tiempo.

En conclusión, observamos como para una distancia cercana a los 30 Km existe una medida anómala, esta medida es la obtenida en el enlace de Negro Urco - Tuta pishco ya que los datos experimentales obtenidos distan mucho de los teóricos. Aunque se sobrepase el límite de -90 dBm que marca la modulación MCS10 se debería corregir o hacer un reajuste a ese radioenlace

puesto que puede poner en compromiso el rendimiento total de la red.

A continuación para completar el análisis realizaremos un procedimiento similar al anterior pero teniendo en cuenta los valores obtenidos en las pruebas realizadas frente a la capacidad de cada enlace. En este análisis serán utilizados los valores obtenidos en el entorno de laboratorio y los proporcionados por la PUCP, los cuáles se recogen en las tablas 6.7, 6.8, 6.5 y 6.6 respectivamente.

En resumen, y analizando el conjunto de las pruebas realizadas y aportadas por la PUCP se destaca lo siguiente:

- El enlace de Santa Clotilde - Tacsha Curaray no sólo obtiene mejores tasas pese a ser uno de los más largo, sino que también obtiene una mayor potencia de señal recibida que los enlaces que son más cortos. Esto pone en duda su configuración puesto que existen enlaces cuya distancia es aproximadamente la mitad y consiguen unas tasas bastante inferiores. En este caso, debería revisarse la configuración de los equipos y las instalaciones para conocer el motivo de dichos datos.
- El enlace Tacsha Curaray - Negro Urco también es llamativo, aunque en este caso por los motivos opuestos a lo comentado en el enlace de Santa Clotilde. Siendo un enlace cuya distancia es intermedia, en torno a 25 Km, obtiene unos valores de señal recibida y tasa muy altos en comparación. La explicación a esto podría deberse a las reflexiones de los elementos geológicos existentes entre el enlace, aunque es llamativa esa diferencia tan remarcada de potencia de señal recibida entre los enlaces de una distancia similar.
- El enlace Negro Urco - Tuta Pishco siendo un enlace cercano a los 30 km, es decir no siendo un enlace excesivamente largo, obtiene una tasa muy inferior a la esperada aunque su señal de potencia recibida sea la más baja de todos los enlaces analizados. En similares condiciones, enlaces con las mismas características obtienen un rendimiento mucho mejor que este, de tal forma que existe un problema en este enlace, bien sea de configuración de equipos o de apuntamiento de antenas.
- Respecto a los valores obtenidos en laboratorio y los posibles alcanzados en el escenario real del proyecto, el rendimiento de los equipos *MikroTik* podría asegurar los objetivos definidos en el capítulo 1 de poder mantener la cohesión de las dos redes.

Capítulo 5

Conclusiones

5.1. Competencias adquiridas

Para el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado he aplicado todos los conocimientos y competencias adquiridos durante la carrera a nivel de configuración de redes, análisis y diseño de escenarios simulados mediante el uso *RadioMobile*, desarrollo de código a bajo nivel y alto, utilizando en este último librerías para la extracción, procesado y representación de datos. Por consiguiente cómo objetivo de máximo interés, el haber aplicado todas estas tecnologías y competencias sobre un escenario real tanto cómo es el proyecto Napo y sobre los equipos NetMetal 5, realizando un estudio sobre el la red en conjunto y extraer conclusiones frente a la viabilidad y rendimiento de los equipos tratando de cumplir siempre con los objetivos del proyecto Napo.

Realizar este Trabajo Fin de Grado me ha aportado conocimientos generales en cuánto al diseño y despliegue de redes en países subdesarrollados. De igual forma, destacaría la capacidad de gestión y coordinación con los compañeros de la PUCP, los cuáles han formado parte activa durante desarrollo de este Trabajo Fin de Grado aportando datos y realizando pruebas de campo, para que la labor de diseño, análisis de pruebas y extracción de resultados sea lo más exacta posible.

Por último y como competencia clave, destacaría el poder trabajar con equipos reales a nivel de laboratorio, realizar pruebas a nivel de red, integrar los equipos con un *software* de monitorización y en base a todo ello, extraer conclusiones y aportar valor desde un plano simulado en laboratorio sobre el rendimiento de los equipos en el escenario del proyecto Napo.

5.2. Trabajos futuros

En primer lugar y analizando el rendimiento ofrecido por lo equipos a nivel de laboratorio, sería interesante tratar de replicar el tráfico existente en las dos redes, tanto la de datos cómo la de telemedicina, realizando túneles MPLS para su diferenciación y agregación. De igual

forma, se trataría de integrar la funcionalidad de esta red principal compuesta por los dispositivos NetMetal 5 con los nodos, cuya placa integrada es Alix, asociado a la creación de una red de *backup*.

En segundo lugar, para conseguir una reproducción y extracción de valores más parejos frente al contexto del proyecto, deberían realizarse no sólo pruebas a nivel de laboratorio, si no que también dichas pruebas deberían ser realizadas con las distancias existentes en cada radioenlace del proyecto obteniendo así una reproducción más exacta en cuanto al rendimiento de los equipos.

Por último, realizar una integración con Zabbix del sistema de la red conjunto, teniendo en cuenta todos los dispositivos que están involucrados en la red y realizar una perfecta jerarquización de la misma. No sólo a la hora de integrar todo lo relacionado con alertas pudiendo crear asignaciones en función de las subredes existentes. De igual modo utilizar la aplicación que utiliza Zabbix respecto al *discovery* para generar una base de datos representativa con todos los elementos que componen la red.

Capítulo 6

Anexos

6.1. Tablas empleadas

Enlaces Backhaul	Tráfico total (Kbps)
Cabo Patonja - Torres Causana	44528
Torres Causana – Tempestad	44956
Tempestad – Tupac Amaru	41572
Tupac Amaru – Angoteros	39344
Angoteros – Campo Serio	37804
Campo Serio – Rumi Tuni	35108
Rumi Tuni - San Rafael	33012
San Rafael – Copal Urco	28604
Copal Urco – Santa Clotilde	26112
Santa Clotilde – Tacsha Curaray	24228
Tacsha Curaray – Negro Urco	20044
Negro Urco – Tuta Pischo	19316
Tuta Pishco – Huaman Urco	12464
Huamán Urco – Mazán	11260
Mazán – Iquitos	5696

Cuadro 6.1: Tráfico total por enlace

Enlaces Backhaul	Latitud	Longitud
Cabo Patonja	°0 '58 "12,80 S	°75 '10 "30,10 O
Torres Causana	°1 '6 "15,40 S	°75 '0 "15,80 O
Tempestad	°1 '16 "57,70 S	°74 '53 "2,30 O
Tupac Amaru	°1 '21 "47,00 S	°74 '44 "42,00 O
Angoteros	°1 '34 "6,80 S	°74 '36 "40,60 O
Campo Serio	°1 '47 "40,80 S	°74 '42 "28,60 O
Rumi Tumi	°2 '3 "14,00 S	°74 '26 "10,50 O
San Rafael	°2 '21 "53,80 S	°74 '6 "44,10 O
Copal Urco	°2 '20 "52,10 S	°73 '47 "24,70 O
Santa Clotilde	°2 '29 "22,40 S	°73 '40 "40,70 O
Tacsha Curaray	°2 '48 "47,60 S	°73 '32 "27,20 O
Negro Urco	°3 '1 "23,10 S	°73 '23 "31,50 O
Tuta Pishco	°3 '6 "31,40 S	°73 '8 "17,50 O
Huamán Urco	°3 '19 "7,60 S	°73 '13 "1,90 O
Mazán	°3 '29 "59,90 S	°73 '5 "28,00 O
Hospital Regional de Loreto	°3 '36 "46,86 S	°73 '10 "20,05 O

Cuadro 6.2: Geolocalización de los emplazamientos del NAPO

Enlace	Altura torres	Distancia
Cabo Pantoja – Torres Causana	45 m – 45 m	24,11 Km
Torres Causana – Tempestad	45 m – 60 m	23,92 Km
Tempestad – Tupac Amaru	60 m – 45 m	17,84 Km
Tupac Amaru – Angoteros	45 m – 66 m	27,24 Km
Angoteros – Campo Serio	66 m – 66 m	27,32 Km
Campo Serio – Rumi Tumi	66 m – 90 m	41,72 Km
Rumi Tumi – San Rafael	90 m – 90 m	49,89 Km
San Rafael – Copal Urco	90 m – 54 m	35,82 Km
Copal Urco – Santa Clotilde	54 m – 72 m	20,09 Km
Santa Clotilde – Tacsha Curaray	72 m – 72 m	39,05 Km
Tacsha Curaray – Negro Urco	72 m – 75 m	24,58 Km
Negro Urco – Tuta Pishco	75 m - 57 m	29,75 Km
Tuta Pishco – Huamán Urco	57 m – 66 m	24,93 Km
Huamán Urco – Mazán	66 m – 69 m	24,52 Km
Mazán - Hospital Regional Loreto	69 m - 30 m	15,45 Km

Cuadro 6.3: Altura de torres y distancia entre emplazamientos del NAPO

Enlace	Mbps obtenida	Distancia
Cabo Pantoja – Torres Causana	53,34973333333333	24,11 Km
Torres Causana – Tempestad	53,36746666666666	23,92 Km
Tempestad – Tupac Amaru	53,93493333333333	17,84 Km
Tupac Amaru – Angoteros	53,0576	27,24 Km
Angoteros – Campo Serio	53,05013333333333	27,32 Km
Campo Serio – Rumi Tumi	51,70613333333333	41,72 Km
Rumi Tumi – San Rafael	50,94359999999999	49,89 Km
San Rafael – Copal Urco	52,2568	35,82 Km
Copal Urco – Santa Clotilde	53,72493333333333	20,09 Km
Santa Clotilde – Tacsha Curaray	51,95533333333333	39,05 Km
Tacsha Curaray – Negro Urco	53,30586666666667	24,58 Km
Negro Urco – Tuta Pishco	52,82333333333333	29,75 Km
Tuta Pishco – Huamán Urco	53,27319999999999	24,93 Km
Huamán Urco – Mazán	53,31146666666667	24,52 Km
Mazán - Hospital Regional Loreto	54,158	15,45 Km

Cuadro 6.4: Valores de capacidad teórica respecto a cada radioenlace utilizando una MCS10 para NV2 y 40 Mhz

Enlace	Tráfico Tx (Mbps)	Tráfico Rx (Mbps)	Tráfico total (Mbps)
Santa Clotilde – Tacsha Curaray	49,5	33,7	83,2
Tacsha Curaray – Negro Urco	55,8	61,3	117,1
Negro Urco – Tuta Pishco	13,3	4,7	18
Tuta Pishco – Huamán Urco	29,7	43,8	73,5
Huamán Urco – Mazán	33,7	28,8	62,5
Mazán - Iquitos	41,3	50,8	92,1

Cuadro 6.5: Valores instantáneos obtenidos en campo

Enlace	Tráfico Tx (Mbps)	Tráfico Rx (Mbps)	Tráfico total (Mbps)
Santa Clotilde – Tacsha Curaray	67,6	56,3	123,9
Tacsha Curaray – Negro Urco	48,6	51,5	100,1
Negro Urco – Tuta Pishco	6,4	3,7	10,1
Tuta Pishco – Huamán Urco	32,5	36	68,5
Huamán Urco – Mazán	30,3	25,6	55,9
Mazán - Iquitos	30,6	43,5	74,1

Cuadro 6.6: Valores medios obtenidos en campo

Enlace	Tráfico Tx (Mbps)	Tráfico Rx (Mbps)	Tráfico total (Mbps)
Santa Clotilde – Tacsha Curaray	71,2	66,2	137,4
Tacsha Curaray – Negro Urco	71,2	66,1	137,3
Negro Urco – Tuta Pishco	71,3	66,3	137,6
Tuta Pishco – Huamán Urco	71,6	67	138,6
Huamán Urco – Mazán	69,6	66,2	135,8
Mazán - Iquitos	71,2	67,1	138,3

Cuadro 6.7: Valores instantáneos obtenidos en Laboratorio

Enlace	Tráfico Tx (Mbps)	Tráfico Rx (Mbps)	Tráfico total (Mbps)
Santa Clotilde – Tacsha Curaray	57,4	47,2	104,6
Tacsha Curaray – Negro Urco	55,5	46,5	102
Negro Urco – Tuta Pishco	58	43,9	101,9
Tuta Pishco – Huamán Urco	56,9	50,3	107,2
Huamán Urco – Mazán	60,1	55,8	115,9
Mazán - Iquitos	43,5	43,1	86,6

Cuadro 6.8: Valores medios obtenidos en laboratorio

Modulación	Sensibilidad (dBm)
MCS8	-95
MCS9	-93
MCS10	-90
MCS11	-87
MCS12	-84
MCS13	-79
MCS14	-78
MCS15	-75

Cuadro 6.9: Valores teóricos de sensibilidad para cada MCS utilizando el protocolo NV2

Enlace	Potencia teórica (dBm)	Potencia práctica (dBm)
Santa Clotilde – Tacsha Curaray	-78,1	-67
Tacsha Curaray – Negro Urco	-54,5	-45
Negro Urco – Tuta Pishco	-57,4	-75
Tuta Pishco – Huamán Urco	-54,3	-68
Huamán Urco – Mazán	-70,6	-68
Mazán - Iquitos	-49,5	-66

Cuadro 6.10: Potencia de señal obtenida según radioenlace de forma teórica y práctica

6.2. Código utilizado

El siguiente código es el utilizado para la representación de *throughput* en función de la distancia y MCS, guardado en el archivo `capacidades.py`:

```
import csv
import pandas as pd
import math
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.cm as cm

dataset = pd.read_csv('localidades.csv', delimiter = ',')
dataset = pd.DataFrame(dataset)
dataset1 = pd.read_csv('medidas NV2 20Mhz.csv', delimiter=',')
dataset1 = pd.DataFrame(dataset1)
colors = cm.rainbow(np.linspace(0, 1, 15))
nombres_rl = dataset['Localidad (A-B)']
nombres_mcs = ['MCS8', 'MCS9', 'MCS10', 'MCS11', 'MCS12']
distances = dataset['Distancia (Km)']

distances_array = []
for d in distances:
    d = float(d.replace(",","."))
    distances_array.append(np.float(d))

coord_x1 = []
coord_x2 = []
coord_y1 = []
coord_y2 = []

dataset1 = dataset1[:5]
for x, y in zip(dataset1['0'], dataset1['30']):
    coord_x1.append(0.0)
    coord_y1.append(x.replace(",","."))
    coord_x2.append(30.0)
    coord_y2.append(y.replace(",","."))

coordenadas = [coord_x1, coord_y1, coord_x2, coord_y2]
coordenadas = np.transpose(coordenadas)

throughput_mods_20 = []

def throughput(fila,d):
    return ((np.float(d) - np.float(fila[0])) * (( np.float(fila[3])) - ((

for i in range(0, len(coordenadas)):
```

```

fila = coordenadas[i]
for d in range(0, len(distances_array)):
    throughput_mods_20.append((throughput(fila , distances_array[d])))

throughput_rl_20 = np.reshape(throughput_mods_20 , (5,15)).T

def printable(array):
    print_var = []
    for item in array:
        print_var += [item]
    return print_var

rl_mcs8 = throughput_rl_20[:,0]
rl_mcs9 = throughput_rl_20[:, 1]
rl_mcs10 = throughput_rl_20[:, 2]
rl_mcs11 = throughput_rl_20[:, 3]
rl_mcs12 = throughput_rl_20[:,4]

printable_mcs8 = printable(rl_mcs8)
printable_mcs9 = printable(rl_mcs9)
printable_mcs10 = printable(rl_mcs10)
printable_mcs11 = printable(rl_mcs11)
printable_mcs12 = printable(rl_mcs12)

fig , ax = plt.subplots(figsize=(22,9))
plt.xlabel('Distance(KM)', fontsize=8)
plt.ylabel('C (Mbps)', fontsize=8)

plt.plot(distances_array , printable_mcs8 , '-', label=nombres_mcs[0])
plt.plot(distances_array , printable_mcs9 , '-', label=nombres_mcs[1])
plt.plot(distances_array , printable_mcs10 , '-', label=nombres_mcs[2])
plt.plot(distances_array , printable_mcs11 , '-', label=nombres_mcs[3])
plt.plot(distances_array , printable_mcs12 , '-', label=nombres_mcs[4])

ax.legend(ncol=2)
ax.grid(True)
plt.show()
fig.savefig('rectas.png', format='png', dpi=1000)

fig_1 , ax = plt.subplots(figsize=(22,9))
plt.xlabel('Distance(KM)', fontsize=8)
plt.ylabel('C (Mbps)', fontsize=8)

for i, c in zip(range(0, 14), colors):
    ax.scatter(distances_array[i], printable_mcs8[i], color=c, label=nombres_mcs[i])
    ax.scatter(distances_array[i], printable_mcs9[i], color=c)

```

```
ax.scatter(distances_array[i], printable_mcs10[i], color=c)
ax.scatter(distances_array[i], printable_mcs11[i], color=c)
ax.scatter(distances_array[i], printable_mcs12[i], color=c)

ax.legend(ncol=4)
ax.grid(True)
plt.show()
fig_1.savefig('valoresmbps.png', format='png', dpi=1000)
```

Listing 6.1: Script utilizado para representar *throughput* en función de la distancia.

Bibliografía

- [1] IPERF. <https://iperf.fr/>.
- [2] MAC LAYER. <https://hewlettpackard.github.io/wireless-tools/>.
- [3] MIKROTIK ROUTER AND WIRELESS. <https://www.mikrotik.com>.
- [4] NAGIOS. <https://www.nagios.org/>.
- [5] PANDORA FMS ENTERPRISE. <https://pandorafms.com/es/>.
- [6] POSTFIX. <http://www.postfix.org/>.
- [7] SIMO-REIGADAS, J., MORGADO, E., MUNICIO, E., PRIETO-EGIDO, I., AND MARTINEZ, A. Assessing iee 802.11 and iee 802.16 as backhaul technologies for rural 3g femtocells in rural areas of developing countries. In *Proc. of EUCNC'14 Conference* (2014).
- [8] SIMO-REIGADAS, J., MUNICIO, E., MORGADO, E., CASTRO, E. M., MARTINEZ, A., SOLORZANO, L. F., AND PRIETO-EGIDO, I. Sharing low-cost wireless infrastructures with telecommunications operators to bring 3g services to rural communities. *Computer Networks* 93 (2015), 245–259.
- [9] ZABBIX. <https://www.zabbix.com/>.