ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

"ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTOS EN IMPLEMENTACIÓN DE RED INALÁMBRICA MESH EN INSTALACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN (FIEC)"

INFORME DE

PROYECTO DE GRADUACION

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentada por:

EVELYN STEPHANIA JIMENEZ BRAVO

JOSE EDUARDO ZERNA TORRES

GUAYAQUIL – ECUADOR

2011

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres por todo el apoyo brindado durante toda mi formación académica, por no dejarme caer ante los obstáculos.

Evelyn S. Jiménez Bravo

A mis padres y hermanos porque gracias a ellos he logrado llegar hasta donde estoy ahora, y a Dios sin cuyo consentimiento no cae una hoja de un árbol.

José E. Zerna Torres

Agradecemos al Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Sistemas (CIDIS) por las facilidades brindadas al trabajar en sus instalaciones y con sus equipos, al Ing Juan Carlos Basurto y al Ing, Roberto Riggio por el apoyo brindado en el desarrollo del presente proyecto

DEDICATORIA

A mi abuelita que desde el cielo siempre guiará mis pasos, a toda mi familia, a mis queridos amigos quienes juntos recorrimos esta etapa y me ayudaron a culminarla.

Evelyn S. Jiménez Bravo

A mis padres, hermanos y amigos, quienes constituyen el pilar más importante de mi vida.

José E. Zerna Torres

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Jorge Aragundi.

SUB-DECANO FIEC

Ing. Patricia Chávez B.

DIRECTOR DE PROYECTO

Ing. Albert Espinal.

MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este trabajo, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

Evelyn Stephanía Jiménez Bravo

José Eduardo Zerna Torres

RESUMEN

En la actualidad las redes Wireless Mesh (redes malladas inalámbricas) se han convertido en una nueva área de la tecnología destinada a jugar un papel importante en el escenario de las redes inalámbricas de banda ancha debido a las ventajas que nos ofrece este tipo de redes, lo cual ha permitido un amplio aumento de aplicaciones tanto como una plataforma de investigación y como una tecnología que puede ser explotada comercialmente.

No obstante, uno de los principales retos en la investigación de este tipo de redes Inalámbricas Malladas es poder ofrecer escalabilidad, es decir, mientras mayor sea el área, mayor debe ser el número de usuarios que pueden acceder a ella. Es por este motivo, que la calidad de servicio (QoS) es un factor importante en su implementación, el aumento de nodos implica que se produzca un aumento del retardo, ya que los paquetes deben atravesar más nodos hasta su destino final. Para evitar esto, se hace uso de métricas que sean adecuadas para cada tipo de servicio.

Este proyecto se basará en analizar las redes Inalámbricas Malladas usando cuatro protocolos de enrutamiento mallado, empleando las dos clases representativas de los mismos: proactivos y reactivos. Para ello, se verificara la calidad de servicio (QoS) que cada uno de ellos nos brinda. Los

parámetros que serán analizados en el proyecto serán: el consumo de ancho de banda, jitter, retraso, pérdida de paquetes.

En el primero capítulo se procederá a describir los antecedentes, el problema planteado, los objetivos alcanzados y la justificación de porqué se realiza la implantación de la red inalámbrica mallada.

En el segundo capítulo, se procederá a describir el marco teórico, explicando qué son las redes inalámbricas malladas, la funcionalidad de este tipo de redes, los estándares que las rigen, los protocolos de enrutamiento de malla usados para el envío de información entre los nodos, establecer las diferencias entre ellos, análisis detallado de cada protocolo que será utilizado en este proyecto, explicación de los parámetros que determinará el protocolo más eficiente.

En el tercer capítulo, se describen las herramientas utilizadas para la implementación de la red, la descripción de la posición de cada enrutador dentro de las instalaciones de la Facultad, así como la instalación, configuración y desarrollo de cada uno de los protocolos que serán analizados en el proyecto.

En el cuarto capítulo, se detallan las pruebas realizadas con cada protocolo de enrutamiento de malla por medio de la captura de paquetes para su posterior análisis de la calidad de servicio (QoS) que cada uno de ellos ofrece.

En el quinto Capítulo, se procederá a realizar el análisis comparativo de los protocolos proactivos y reactivos de la red inalámbrica mallada con el objetivo de determinar el más eficiente.

INDICE GENERAL

ABREVIATURAS

WMN	Wireless Mesh Network
	Red Inalámbrica Mallada
QoS	Quality of Service
	Calidad de Servicio
MANET	Mobile Ad Hoc Network
	Red Móvil Ad Hoc
WLAN	Wireless Lan Network
	Red Inalámbrica de área local
WPAN	Wireless Personal Area Network
	Red Inalámbrica de área personal
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network
	Red Inalámbrica de área metropolitana
ISP	Internet Service Provider
	Proveedor de Servicios de Internet
OLSR	Optimized Link State Routing
	Protocolo optimización del estado del enlace
WING	Wireless Mesh Network for Next-Generation Internet
	Red inalámbrica de próxima generación de Internet
BATMAN	Better Approach To Mobile Adhoc Networking

	Protocolo de Mejor aproximación a la red ad hoc móvil
RTP	Real-time Transport Protocol
	Protocolo de Transporte de Tiempo real
LAN	Local Area Network
	Red de area local
SSH	Secure Shell
	Intérprete de órdenes seguras
VLAN	Virtual Local Area Network
	Red de Área Local Virtual
PBX	Private Branch Exchange
	Ramal privado de conmutación automática
SSID	Service Set Identifier
	Servicio de Identificador de Conjunto

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los investigadores han centrado su trabajo principalmente en explorar y explotar la industria de la tecnología y la comunicación por lo cual encontramos un incremento en el despliegue de tecnologías cada vez más complejas en las redes inalámbricas que mejoran muchos los aspectos de la vida cotidiana.

Las redes inalámbricas de malla de sus siglas en inglés (WMN) es una prometedora tecnología para múltiples aplicaciones comerciales emergentes tales como: implementar comunidades y vecindarios a una misma red, creación de sistemas de transporte inteligente razón por la cual los proveedores de internet han centrado toda su atención puesto que brinda a sus usuarios finales acceso fiable a los servicios inalámbricos de banda ancha a un costo razonable en comparación con las otras tecnologías, además las WMN ofrecen un mantenimiento fácil de la red, robustez y en combinación con tecnologías avanzadas de radio permite el manejo de múltiples interfaces de radio y antenas inteligentes.

Este tipo de redes al poseer características únicas generan todo tipo de investigaciones acerca diseño de la arquitectura y los protocolos de enrutamiento de la red que van desde la capa de aplicación hasta la capa física.

Los protocolos de enrutamiento de malla deben ser lo suficientemente eficiente para permitir la auto-configuración de la red, la auto recuperación en caso de falla de algún nodo, brindar la seguridad de todo los nodos existentes, tolerar la interoperabilidad e integración de redes heterogéneas, aceptar la escalabilidad de la red y cumplir con los parámetros de calidad de servicio los cuales son de vital importancia en una configuración de redes inalámbricas malladas.

Este proyecto plantea la implementación de una WMN la cual consta de una serie de enrutadores dentro de las instalaciones de la FIEC con el objetivo de determinar el protocolo de enrutamiento que sea más eficiente y que cumpla con las características que previamente fueron descritas para lo cual se procederá a medir el ancho de banda usado, la pérdida de paquetes experimentada, el jitter y retraso que presentó la red y los paquetes VOIP perdidos.

CAPITULO 1

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACION

En este capítulo se provee información acerca de los antecedentes sobre los cuáles se plantearon los objetivos, una explicación más detallada del problema a tratar y la justificación del presente trabajo.

1.1 Antecedentes

El objetivo de las redes inalámbricas malladas es mejorar o ampliar la cobertura de las redes inalámbricas tradicionales, lo cual permite abarcar aquellas zonas en las que no es posible instalar cableado para proporcionar conectividad de red a los puntos de acceso razón por la cual tuvieron su origen principalmente para los entornos militares con lo cual se permitía

a los soldados tener comunicación confiable de banda ancha en cualquier lugar.

La telefonía móvil de red Ad-Hoc de sus siglas en inglés (MANET) es una red dinámica formada por dispositivos móviles sin necesidad de cualquier infraestructura existente o de la configuración previa de la red. Una red de malla inalámbrica (WMN) es un tipo particular de una MANET, las cuales tienen como objetivo permitir el acceso total de la banda ancha para un gran número de usuarios (1).

Las redes inalámbricas de malla (WMNS) se componen de dos elementos principales: los enrutadores de malla y los clientes de malla; en la cual los enrutadores de malla se encargan de formar una infraestructura inalámbrica / backbone y también de interactuar con las redes cableadas para proporcionar conectividad inalámbrica de Internet de múltiples saltos para los clientes de malla.

Al igual que las MANETS, las WMN también tienen las habilidades de auto-organización, auto-descubrimiento, auto-recuperación y auto-configuración lo cual proporciona conectividad inalámbrica de Internet adaptable y flexible a los usuarios móviles, sin embargo

las WMN son comunes encontrarlas como una configuración estática de enrutadores. En este tipo de redes se pueden utilizar para diferentes tecnologías de acceso inalámbrico tales como los estándares IEEE 802.11, 802.15, 802.16, basados en la red de área local inalámbrica (WLAN),redes inalámbricas de áreas personales (WPAN), y la red inalámbrica de área metropolitana (WMAN) respectivamente (2).

Las WMN basan su estructura de red principalmente en los protocolos de enrutamiento los cuales son más importantes para que la red funcione que las conexiones físicas, puesto que permiten la comunicación entre los nodos que pertenecen a la red, razón por la cual éstos son diseñados por capas con funciones independiente del resto de las capas. De esta manera cuando se quiere transmitir un mensaje que se origina en la capa más baja va atravesando las diferentes capas hasta llegar a la más alta.

Los protocolos de enrutamiento de malla tienen como objeto revelar las rutas de la red, realizar el encaminamiento adecuado de los datos y controlar el mantenimiento de las rutas.

A lo largo de los años se ha ido desarrollando y mejorando los protocolos de enrutamiento para ofrecer cada vez más un mejor servicio. Es así que en el 2003, LugroMesh, un proyecto de Grupo de Usuarios de Software Libre de la ciudad de Rosario, crea una red comunitaria, no dependiente de ISP's y que utiliza exclusivamente Software Libre en sus implementaciones.

A mediados del 2007, implementan una Red inalámbrica utilizando tecnología mallada. El proyecto tomó el nombre de LUGRo-Mesh, y cuenta con 27 nodos y 2035 usuarios.

En un comienzo, trabajaron con BerlinRoofnet, Wing y Robin. Sin embargo, su trabajo no fue tan simple ni tan eficiente, y pasaron a trabajar con B.A.T.M.A.N. bajo Nightwing.

WING empezó hace apenas 3 años como un proyecto en redes inalámbricas malladas. Parte del software desarrollado es construido sobre Roofnet, una red mallada 802.11b/g experimental. WING extiende el proyecto original añadiendo soporte para interfaces para múltiples radios.

Existen varias implementaciones para el Protocolo Optimización del Estado del Enlace (OLSR) que comenzaron como un borrador IETF

escrito en el INRIA en Francia. La implementación de olsr.org comenzó como la tesis de máster de Andreas Toennesen en la Universidad Unik. OLSR se modificó con base en la experiencia práctica de las redes comunitarias gratuitas. El OLSR actual difiere significativamente del borrador original porque incluye un mecanismo denominado Link Quality Extension (Extensión de la Calidad del Enlace) que mide la cantidad de paquetes perdidos entre los nodos y calcula las rutas de acuerdo con esta información.

1.2 Definición del problema

Las redes WMN ofrecen múltiples ventajas en el manejo de las redes, sin embargo, presentan dificultades al momento de ofrecer QoS de óptima calidad por lo cual no garantiza seguridad y robustez (3). Por esta razón es importante tener un protocolo de enrutamiento que permita tener escalabilidad, fiabilidad, flexibilidad y sobretodo calidad de servicio que es un factor esencial para poder realizar la selección de las mejores rutas para diferentes clases de tráfico.

El objetivo del presente proyecto es determinar el protocolo de enrutamiento que sea más eficiente, usado en la implementación de una red inalámbrica mallada dentro de la Facultad, con la finalidad de evitar el consumo innecesario de recursos, para lo cual se procederá a medir el

ancho de banda consumido, la pérdida de paquetes experimentada, el jitter y retraso que presentó la red y los paquetes VOIP perdidos.

1.3 Objetivos

La implementación de una red inalámbrica mallada (WMN) usando diversos puntos de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones fue planteado para proporcionar un reporte detallado de la calidad de servicio (QoS) de los protocolos de enrutamiento de malla utilizados para poder determinar el más eficiente. Con la finalidad de lograr esto se trazaron los siguientes objetivos:

- ✓ Comparar la calidad de servicio que ofrecen los protocolos inalámbricos de malla, tanto de tipo proactivo como reactivo. Para ello, se tomarán cuatro protocolos de enrutamiento: B.A.T.M.A.N, Roofnet, Wing, OLSR.
- ✓ Tomar medición de la cantidad de paquetes perdidos, el ancho de banda consumido, el jitter, el retardo producido y los paquetes VOIP perdidos, empleando la herramienta de captura de paquetes Wireshark.

1.4 Justificación

Las redes inalámbricas de malla proponen una nueva tecnología en las redes inalámbricas, permitiendo conectar con eficacia, de forma inalámbrica, ciudades enteras utilizando esta tecnología de bajo costo. Resuelven los dos problemas principales que se presentan cuando se quiere desplegar una red en un área densamente poblada:

1.- La interferencia resultante de usar espectro libre.

2.- La necesidad de que todas las estaciones de usuario tengan línea de vista con la estación base.

Otras ventajas es que las estaciones transmiten a menor potencia y por lo tanto pueden emplear mayores velocidades de transmisión, y además se facilita distribuir el acceso a Internet en varios puntos.

Ventajas principales:

- ✓ Disminuye la interferencia.
- ✓ Facilidad de crecimiento y de sostenimiento.
- ✓ Organización y modelo de negocio cooperativo.

- ✓ Red robusta y flexible.
- ✓ Integración con otro tipo de redes.
- ✓ Ambientes urbanos y rurales
- ✓ Permite eliminar el cableado de las redes alámbricas.
- ✓ Es la única solución actual que permite la total movilidad de los usuarios.

Elementos de enrutamiento de malla

- ✓ Cálculo de las rutas
  - Manejo de direcciones IP
  - Manejo de la red troncal (uplink, backhaul)
- ✓ Descubrimiento de nodos.
- ✓ Descubrimiento de la frontera.

Los protocolos de enrutamiento permiten a los enrutadores dirigir o enrutar los paquetes hacia diferentes redes usando tablas de enrutamiento. Para realizar este cálculo, utilizan diferentes criterios según

el protocolo a usar los cuales pueden ser: la métrica, la distancia administrativa, vector distancia, entre otros.

Tipos de protocolos de enrutamiento de malla

Existen dos tipos:

- ✓ Proactivos o basados en tablas. Buscan rutas periódicamente, suponiendo que serán útiles Ejemplo: OLSR, B.AT.M.A.N
- ✓ Reactivos o por demanda. Buscan una ruta solo cuando se necesita Ejemplo: AODV, DSR.

CAPITULO 2

2. ANÁLISIS CONCEPTUAL Y DISEÑO

2.1 Redes Wireless Mesh

Una red en malla es simplemente una topología de red en la cual cada uno de los nodos que la componen está conectado a todos los demás nodos de la red. Es así, que la información puede ir de un nodo a otro a través de diversas rutas.

Una red inalámbrica mallada, no es más que una red en malla que ha sido implementada sobre una red inalámbrica LAN, conservando así los mismos atributos de una red mallada cableada, pero con las ventajas (y también con sus debidas desventajas) que provee una red inalámbrica.

Figura. 2.1: Red en malla

Las redes inalámbricas en malla, o WMN de sus siglas en inglés (Wireless Mesh Networks), pueden incluso comunicar ciudades enteras usando tecnología relativamente de bajo costo ya existente. Mientras las redes comunes se basan en tener un pequeño número de puntos de acceso, cada uno con su cableado respectivo, en una WMN la conexión se propaga por medio de decenas o incluso cientos de nodos inalámbricos mallados que se comunican entre sí para compartir la conexión a la red a través del área de cobertura. Además, en una WMN, únicamente un nodo necesita estar conectado físicamente a Internet, por ejemplo a través de un módem DSL. Y es este único nodo, el que

comparte dicha conexión de manera inalámbrica a los nodos cercanos a él. Estos nodos, a su vez, comparten la conexión de manera inalámbrica a los nodos en sus vecindades. De esta manera, mientras más nodos existan en la red, mayor será la distancia que se esparcirá

la conexión.

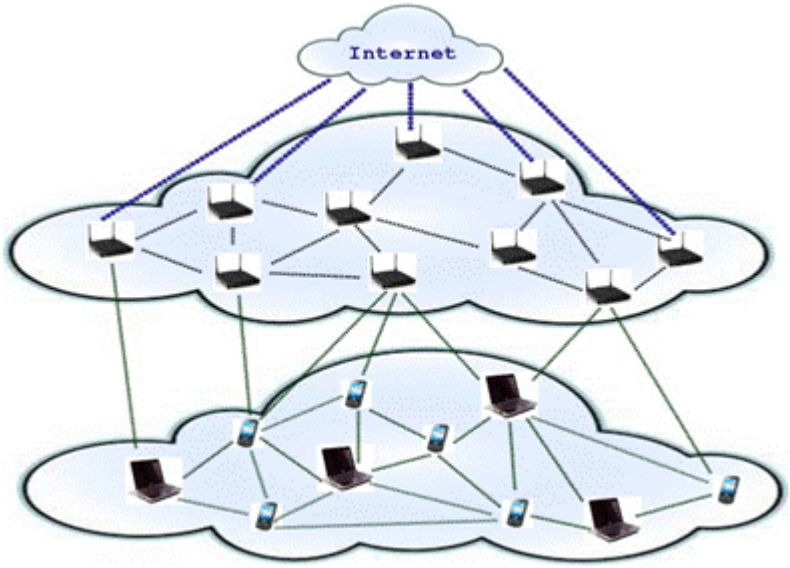


Figura 2.2: Red inalámbrica en malla

En un ámbito general, entre las ventajas que las redes inalámbricas en malla nos ofrecen, constan las siguientes:

- ✓ Mientras más nodos se empleen, más grande y rápida se

tornará la red inalámbrica.

- ✓ Utilizan los mismos estándares WiFi (802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n) que son utilizados en la mayoría de las redes inalámbricas.
- ✓ Los nodos son fáciles de instalar y desinstalar, lo que permite que la red sea adaptable y escalable, en los eventuales casos en que se necesite mayor o menor cobertura.
- ✓ No es necesario realizar grandes obras para canalizaciones, puesto que sólo se necesita que un nodo esté conectado a Internet.
- ✓ El hecho de usar menos cables reduce significativamente los costos de instalar la red, especialmente cuando se trata de áreas de cobertura muy grandes.
- ✓ Se mitiga la interferencia.
- ✓ Es más fácil de instalar tanto en entornos urbanos como en rurales. Esto es conveniente especialmente donde no se puedan hacer conexiones de Ethernet en las paredes.
- ✓ La red automáticamente encuentra la ruta más fácil y más confiable para enviar los datos, incluso si algún nodo

perdiese la señal o estuviese bloqueado.

2.1.1 Funcionalidad

La figura 2-3 muestra el funcionamiento de una red inalámbrica en malla cuando se comparte una conexión a Internet a través de una LAN. Como se puede apreciar, únicamente un nodo está conectado directamente a Internet. Es éste nodo comparte esta conexión de manera inalámbrica con los nodos de su vecindad, los cuales, a su vez, la comparten con los nodos de sus respectivas vecindades y así sucesivamente.

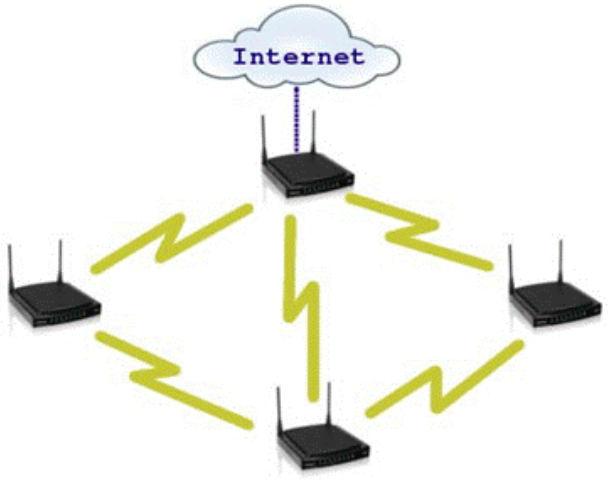


Figura. 2.3: Compartición de Internet en una WMN

Esto implica que no se necesita que cada uno de los nodos esté conectado con cables a Internet. En realidad, no requieren estar conectados a ninguna parte alambrada, excepto su respectiva fuente de alimentación y están listos para funcionar.

Es por este motivo, que la compartición de Internet a través de una WMN es extremadamente eficiente. Mientras más nodos existan en la red, habrá mayor cobertura, y la conexión a Internet para los usuarios finales será más rápida y mejor.

La conexión mejora por dos motivos principales:

- ✓ Si una laptop se encuentra en el rango de cobertura de 4 nodos, hay disponible 4 veces el ancho de banda de un enrutador inalámbrico tradicional.
- ✓ La distancia juega un papel extremadamente importante en cuanto a la intensidad de la señal. Si se reduce a la mitad la distancia que hay entre el dispositivo final y el nodo, la intensidad de la señal será 4 veces más fuerte.

Cabe recalcar que los nodos pueden también proveer Internet a dispositivos en la red que necesiten de cables para funcionar; como por ejemplo: teléfonos IP, cámaras, servidores. Incluso, si

los nodos proveen de la tecnología de alimentación por Internet o PoE (Power over Internet), estos dispositivos no necesitan conectarse a tomas de corriente.

Incluso en una red inalámbrica en malla, llega un momento en que la información debe llegar a un punto de acceso con cableado, para llegar a Internet. El hacer llegar la información de regreso al punto de acceso, es lo que se conoce con el nombre de backhaul. Cuando la red es pequeña, el backhaul puede manejarse sin mayor complicación; pero, cuando la red es muy grande, únicamente ciertos nodos deben comportarse como nodos de backhaul. Todos los demás nodos envían la información a uno de los nodos de backhaul, el cual a su vez, la envía al punto de acceso con cableado.

Otro punto a acotar respecto a las WMN, es que las tarjetas de red de los dispositivos pueden comunicarse entre sí, incluso cuando están conectadas a diferentes puntos de acceso. Esto permite que los paquetes puedan ir directamente a de un dispositivo a otro hasta llegar a su destino, sin necesidad de pasar por el punto de acceso cercano al dispositivo de origen.

Para poder realizar eficientemente este paso de paquetes, es necesario contar con un protocolo de enrutamiento que permita enviar estos paquetes de la manera más eficiente, ya sea con el menor número de saltos, o con un número suficientemente bueno, aunque haya mayor cantidad de saltos que el mínimo; y que, además, sea tolerante a fallos en la red, debido a la caída de algún nodo.

2.2 Protocolos de Enrutamiento Mesh

Los protocolos de enrutamiento definen varias maneras en que los enrutadores se comunican entre sí, con la finalidad de determinar la mejor ruta hacia cada destino.

Las funciones que un protocolo de enrutamiento debe realizar son:

- ✓ Aprender información sobre las rutas de enrutadores vecinos.
- ✓ Dar a conocer información sobre sus rutas a los enrutadores vecinos.
- ✓ Si más de una ruta posible existe a una subred, escoger la mejor ruta basada en la métrica.

- ✓ Si la topología de la red cambia -por ejemplo, un enlace falla- debe reaccionar dando a conocer que algunas rutas han fallado, y escoger una nueva mejor ruta. Este proceso se conoce como convergencia.

2.2.1 Clases de protocolos de enrutamiento mesh

Existen varios protocolos con la finalidad de enrutar paquetes a través de una red en malla. Estos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Protocolos reactivos: Este tipo de protocolos buscan una ruta, únicamente cuando es necesario. Por ello, también se los conoce como protocolos bajo demanda. Entre ellos, se puede nombrar a AODV y a DSR.

Sus características principales son:

- ✓ Se asume latencia alta para el primer paquete.
- ✓ Si la topología cambia, la ruta individual se mantiene con vida por cierto tiempo.
- ✓ Las rutas tienen cierto grado de independencia entre ellas.

- ✓ La relación entre el número de rutas útiles y todas las rutas posibles es alta.

Protocolos proactivos: Estos protocolos buscan rutas de manera periódica, bajo la suposición de que sean de utilidad. Entre ellos figura OLSR.

Sus características principales son:

- ✓ Implican alguna variación de los protocolos de Estado de Enlace.
- ✓ Resulta primordial una respuesta rápida.
- ✓ Si se modifica una ruta, esta puede afectar a cualquier nodo.
- ✓ La relación entre el número de rutas útiles y todas las rutas posibles es relativamente baja.

2.3 Protocolo de mejor aproximación a la Adhoc móvil (B.A.T.M.A.N.)

Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/B.A.T.M.A.N.

Figura 2.4: Logo del protocolo B.A.T.M.A.N

El Protocolo de Mejor Aproximación a la Adhoc Móvil, o B.A.T.M.A.N. por sus siglas en inglés Better Approach To Mobile Adhoc Network, es un protocolo de enrutamiento bajo el desarrollo de la comunidad Freifunk, con la finalidad de sustituir al protocolo OLSR. Esta comunidad notó que OLSR tenía muchos defectos en su desempeño cuando la red era muy grande (aproximadamente 300 nodos).

B.A.T.M.A.N. se encarga de mantener proactivamente información sobre la existencia de todos los nodos en la malla, a los cuales se puede acceder con uno o varios saltos.

El algoritmo de este protocolo se basa en definir para cada destino dentro de la malla, un vecino de un salto, el cual es considerado como el mejor gateway para comunicarse con dicho nodo destino. Cada nodo realiza este procedimiento, hasta llegar al nodo final. Es decir, no es necesario calcular la ruta completa; lo importante, es aprender cuál es el próximo mejor salto para cada destino. De esta manera, se obtiene una implementación bastante rápida y eficiente.

B.A.T.M.A.N. realiza un análisis estadístico de la pérdida de paquetes del protocolo y velocidad de propagación, sin depender del estado de los nodos o de su información topológica. Las decisiones de enrutamiento no

se basan en la información contenida en el tráfico recibido del protocolo, puesto que el mismo puede tener retrasos o incluso puede perderse; más bien, se basan en el conocimiento sobre la falta o existencia de información. Es por este motivo, que los paquetes de este protocolo son muy pequeños y contienen muy poca información, y la pérdida de paquetes del protocolo debido a enlaces no confiables son detectados con la finalidad de tomar mejores decisiones de enrutamiento. Cada nodo individualmente toma su decisión de enrutamiento y B.A.T.M.A.N. elige la ruta más confiable basándose en ellas.

El algoritmo de B.A.T.M.A.N consiste en particionar el conocimiento de la mejor ruta entre nodos, a TODOS los nodos que conforman la malla. Así, cada nodo tiene la información sobre el próximo mejor salto hacia cada uno de los otros nodos. Es por ello, que se torna superfluo el conocimiento global sobre los cambios en la topología. Además, B.A.T.M.A.N contiene un mecanismo de inundación basado en eventos, el cual asegura que no existan lazos de capa de red, y limita el número de mensajes de topología que inunda la malla.

Puede resumirse el algoritmo del protocolo de la siguiente manera:

1. Cada nodo envía mensajes de difusión (broadcast), para que sus

vecinos sepan de su existencia. Estos mensajes se denominan Mensajes Originadores (OGM) y tienen un tamaño típico de 52 bytes, incluyendo el encabezado IP y UDP.

2. Los vecinos retransmiten los OGMs para informar a sus vecinos sobre la existencia del nodo que originó el OGM, y así sucesivamente.
3. Así, la red es inundada con OGMs. Cada uno de estos mensajes contiene, por lo menos, la dirección del nodo que originó el OGM, la dirección del nodo que retransmite el paquete, un tiempo de vida (TTL) y un número de secuencia.
4. Si el OGM sigue un ruta donde el enlace tiene una pobre calidad o esta saturado, habrán pérdida de paquetes o retrasos. Mientras que los OGMs que viajan por enlaces de buena calidad no tendrán inconvenientes y, evidentemente, llegarán antes.
5. Cada uno de los nodos retransmite, al menos una vez, cada mensaje originador que ha recibido; y únicamente envía hacia el nodo que originó el OGM, aquellos mensajes recibidos del vecino que ha sido identificado como el mejor próximo salto.
6. Así, los mensajes originadores son inundados en la red de manera selectiva y se emplean para que los nodos que los reciben tengan

conocimiento de otros nodos.

De esta manera, un nodo A tendrá conocimiento de la existencia de un nodo B cuando los OGMs del nodo B sean retransmitidos por su vecino de un salto. Ahora bien, si el nodo A tiene más de un vecino, para determinar cuál de ellos elige para enviar mensajes al nodo distante, se toman en cuenta los OGMs que recibe de manera más rápida y confiable.

Con este procedimiento, el algoritmo elige cuál vecino es el mejor próximo salto hacia el originador del mensaje y configura su respectiva tabla de enrutamiento.

2.4 Protocolo de la Red Experimental Roofnet (Scrrr)

Roofnet es el nombre que se le dio a una red 802.11b mallada experimental desarrollada por el MIT. El software de este proyecto está disponible gratuitamente como código abierto.

La característica principal de Roofnet es que no necesita configuración y por ende es sencillo de implementar y expandir. Un nuevo usuario puede simplemente encender un nuevo nodo y empezar a usarlo para acceder a Internet sin mayor configuración que el hecho de instalar el hardware.

El protocolo de enrutamiento que usa ROOFNET se llama ScrRR. La finalidad de este protocolo es encontrar las rutas con el rendimiento (throughput) más alto. Su diseño se basa en el Protocolo de Fuente de Enrutamiento Dinámico (DSR por su siglas en inglés). Cuando un nodo A intenta encontrar una ruta hacia un nodo B, se envía un mensaje de difusión para consultar acerca del nodo B. Cada nodo X que recibe el mensaje, reenvía la consulta añadiendo su propio identificador en la ruta origen del paquete. Cada vez que el nodo B escucha una consulta sobre sí mismo, envía una respuesta al nodo A a lo largo de la ruta que se va creando. El nodo A, y todos los nodos que ven la consulta o la respuesta a la consulta, añade todos los enlaces mencionados en la respuesta a una base de datos que contiene los estados de enlaces locales y usa el algoritmo de Dijkstra en esa base de datos, para encontrar la mejor ruta. De esta manera, cuando el nodo A envía un paquete al nodo B, incluye esa ruta como ruta de origen en el paquete.

Principalmente, lo que diferencia a ScrRR de DSR es el hecho de que ScrRR emplea la métrica ETX para escoger rutas en buen estado. ETX continuamente hace mediciones de la tasa de pérdidas en ambos sentidos entre un nodo y sus vecinos, utilizando mensajes de difusión periódicos. Asigna a cada enlace una métrica que estima el número de

veces que un paquete necesita ser retransmitido para que sea recibido exitosamente.

2.5 Protocolo Wireless Mesh Network For Next- Generation Internet (Wing)

WING de sus siglas en ingles (Red inalámbrica de próxima generación de Internet) es un proyecto de investigación que inició hace 3 años aproximadamente, con el auspicio del Ministerio italiano de Universidad e Investigación (MIUR-Ministero dell'Università e della Ricerca) y liderado por el centro de investigación sin fines de lucro CREATE-NET y el Instituto Technion

El proyecto fue creado con la finalidad de promover la cooperación científica entre CREATE-NET y Technion. Para ello, se creó a un equipo de investigación internacional de alto nivel en el área de algoritmos y protocolos de redes inalámbricas.

Parte del software desarrollado fue construido sobre Roofnet, una WMN experimental desarrollada por el MIT en Cambridge, Massachusetts. Wing modifica el proyecto original y le añade soporte para múltiples interfaces de radio, métrica de enrutamiento WCETT, y asignación automática de

canal. El software, en su totalidad, está disponible para toda la comunidad investigadora.

En sí, WING mantiene la misma configuración de Roofnet pero con módulos adicionales que son responsables de:

- ✓ **Adición adaptiva del tráfico**: Sistema que permite mejorar notablemente la capacidad de voz en la red, a través de la concatenación de paquetes.
- ✓ **Programación oportuna:** Un programador oportuno de direccionamiento de anomalías en el desempeño de la IEEE 802.11.
- ✓ **Provisionamiento de Calida de Servicio (QoS):** Un marco que se basa en Servicios Diferenciados (DiffServ) para ofrecer límites más tenuos de QoS.
- ✓ **Multi-Radio:** Un sistema de selección dinámica de canales que es capaz de explotar el uso de múltiples radios con la finalidad de construir y mantener el backhaul inalámbrico.

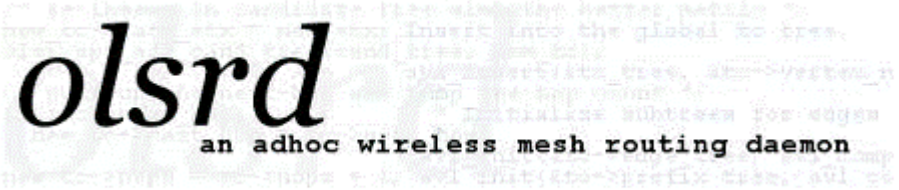
Los nodos de WING pueden detectar automáticamente si son simples nodos o si son puertas de enlace. El nodo se configura a sí mismo

automáticamente como puerta de enlace si se puede obtener una dirección IP mediante DHCP a través de uno de sus enlaces de subida (uplink) soportados. WING, en la actualidad, soporta Ethernet (*eth0* es la interfaz por defecto empleada por los nodos), IEEE 802.11 y UMTS.

La conectividad a Internet la proveen las puertas de enlace, empleando enlaces cableados o inalámbricos. Las puertas de enlace de la WMN pueden emplear WiFi, WiMax o UMTS para sus enlaces inalámbricos en la conexión punto a multipunto.

En cuanto a la Calidad de Servicio, WING implementa diversos avances destinados a mejorar la capacidad de voz del sistema, y métodos de aislamiento de flujos similares en el rendimiento, en ambientes con demasiado ruido.

2.6 Protocolo de Optimización del Estado de Enlace (O.L.S.R.)



Fuente: http://www.olsr.org/

Figura 2.5: Logo de OLSR

OLSR es un protocolo de enrutamiento de tipo proactivo desarrollado en un principio por investigadores de Instituto Nacional francés de Investigación en Informática y Automática, INRIA por sus siglas en francés. Posteriormente, OLSR fue estandarizado por el IETF y es descrito en el RFC3626. Es considerado, de hecho, como uno de los protocolos más prometedores y estables.

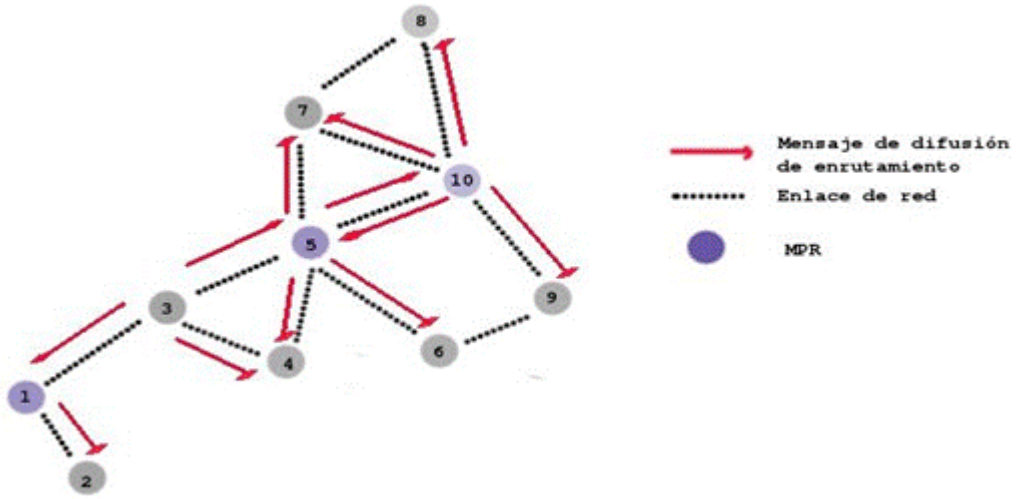
Para su funcionamiento, OLSR trabaja con un mecanismo denominado Relés Multipunto o MPR (de sus siglas en inglés MultiPoint Relays). Los MPR de un nodo A son sus vecinos que cumplen con la condición de que cada vecino de dos saltos de A es un vecino de un salto de al menos un MPR de A. Cada nodo transmite su lista de vecinos en señales periódicas, de tal manera que todos los nodos pueden conocer sus vecinos de 2 saltos, con la finalidad de elegir los MPRs.

De esta manera, OLSR reduce el encabezado de información de inundación de estado de enlace, al requerir menor cantidad de nodos para enviar la información. Un mensaje de difusión del nodo A es transmitido únicamente por sus MPRs.

La Figura 2.6.2. muestra cómo el protocolo de enrutamiento OLSR propaga mensajes de enrutamiento desde el nodo 3 por la red, a través de los MPRs seleccionados.

El código fuente de OLSR que es ejecutado en una red inalámbrica, puede hacer uso de dos tipos de métricas de enrutamiento:

- ✓ El RFC de OLSR hace uso de la métrica en enrutamiento de



Fuente: http://wirelessafrica.meraka.org.za/wiki/images/9/98/Batman_ifip.pdf

Figura 2.6: Propagación de mensajes de enrutamiento por OLSR

histéresis, para calcular la calidad del enlace entre dos nodos.

- ✓ La métrica de Conteo de Transmisión Esperada o ETX (Expected Transmission Count), es una métrica propuesta por el MIT, que también ha sido incorporada al código fuente para OLSR, pero que no es oficialmente parte del RFC. es considerada ampliamente como una métrica de enrutamiento superior a la de histéresis.

ETX calcula el número esperado de retransmisiones requeridas para que un paquete viaje desde y hacia un destino. La calidad del enlace, *LQ,* representa la fracción de paquetes exitosos que fueron recibidos por nosotros desde un vecino, en un período de ventana. La calidad del enlace de vecino, *NLQ,* representa la fracción de paquetes exitosos que fueron recibidos por el vecino de parte de nosotros, en un período de ventana. En base a esto, el ETX es calculado de la siguiente manera:

$$ETX = \frac{1}{LQ \times NLQ} \quad (1)$$

Donde un enlace es perfecto cuando ETX es igual a 1.

Para el control de tráfico, OLSR emplea básicamente dos tipos de mensajes:

- ✓ Mensajes HELLO, los cuales cada nodo envía de manera periódica

a sus nodos vecinos. Estos mensajes no son retransmitidos más allá del primer salto desde su emisor.

- ✓ Mensajes de control de topología (TC), los cuales se envían de manera periódica y asíncrona usando el mecanismo de MPRs. Estos mensajes, en cambio, deben llegar a todos los nodos de la red y permiten a cada nodo tener conocimientos de la topología, elaborar el árbol de caminos mínimos usando el algoritmo de Dijkstra y construir la tabla de enrutamiento.

2.7 Parámetros A Evaluar Con La Finalidad De Determinar El Protocolo Más Eficiente.

2.7.1 Pérdida de paquetes

La pérdida de paquetes ocurre cuando uno o más paquetes que viajan a través de una red, no llegan a su destino final.

Esto puede deberse a varios factores, tales como:

- ✓ Malas conexiones.
- ✓ Interferencia electromagnética.
- ✓ Equipos defectuosos.

- ✓ Cables en muy mal estado.
- ✓ Pequeños cortos circuitos entre los pares de cobre.
- ✓ Tormentas de difusión.
- ✓ Colisiones debido a que varios equipos comparten el mismo medio, sin el debido control.
- ✓ Otras consideraciones, como relación señal a ruido, distancia entre transmisor y receptor.

La pérdida de paquetes puede reducir notablemente el desempeño de la red y producir también fluctuaciones (jitter) en aplicaciones como Voz sobre IP, juegos en línea, videoconferencias, etc. y afectará en menor grado otro tipo de aplicaciones. Sin embargo, la pérdida de paquetes no implica siempre un problema, puesto que si hay un nivel aceptable de pérdidas no habrá un cambio drástico en el desempeño de la red.

Hay que tomar en cuenta que la fracción de pérdida de paquetes incrementa a medida que la intensidad de tráfico incrementa. Y este nivel de pérdidas será aceptable dependiendo de la aplicación para la cual está siendo empleada la red. No es lo mismo tener un 10% de pérdida de paquetes cuando se realiza

una videoconferencia que cuando se carga una página web. Es así que para aplicaciones tales como el tráfico de Voz sobre IP, perder uno o dos paquetes cada cierto tiempo no afecta la calidad de la conversación, mientras que pérdidas entre 5% y 10% afectarán significativamente la calidad del servicio.

2.7.2 Jitter

El jitter es un efecto que se produce en una red no orientada a la conexión. Es, básicamente, la variación en el tiempo de llegada de los paquetes. Esto se puede producir debido a que cada paquete puede tomar una ruta distinta para llegar a su destino, o a una congestión en la red.

Se puede entender el concepto de jitter asociándolo a la palabra precisión. Como se mencionó ya, la información se envía en paquetes; toda la señal se particiona en pequeñas porciones que se transmiten a un dispositivo receptor que las debe volver a ensamblar. Si ocurre jitter, la sincronización se complica y el dispositivo receptor tendrá dificultades para volver a ensamblar la información entrante.

En todas las aplicaciones reales, el jitter tiene un componente aleatorio; es por ello, que debe ser especificado empleando términos estadísticos. El jitter aleatorio, también llamado jitter gaussiano es básicamente ruido electrónico impredecible, y típicamente sigue una distribución Gaussiana o Normal. Se cree que el jitter aleatorio tiene una distribución de este tipo puesto que la mayor parte del ruido en un circuito se debe al ruido térmico, el cual sigue una distribución Gaussiana.

2.7.3 Retardo

El retardo es una medida muy importante a considerar en una red de telecomunicaciones. El retardo en una red no es más que una medida de cuánto tiempo le toma a un bit de datos viajar a través de la red desde un nodo a otro. Al ser una medida de tiempo, se mide en segundos; aunque usualmente estos valores suelen ser muy bajos y rara vez son mayores a 1 segundo.

Se acostumbra tomar en cuenta dos valores de retardo: el valor máximo de retardo de la red y el valor promedio. Si se consideran correctamente estos valores, se puede lograr que el desempeño

de la red sea bastante aceptable. Así, es posible que no se perciba mayormente la diferencia de tiempo existente entre el momento que se envía el flujo de información y el momento en que se lo recibe.

2.7.4 Paquetes VoIP

Voz sobre Protocolo de Internet o Voz sobre IP (VoIP por sus siglas en inglés: Voice over IP) es una tecnología que permite que la voz viaje a través de Internet empleando para ello un protocolo de red (IP).

En la actualidad existen dos arquitecturas de VoIP para la transmisión de voz por Internet que se utilizan de manera abundante:

- ✓ Protocolo de Inicio de Sesión (SIP de sus siglas en inglés: Session Initiation Protocol): Es un estándar desarrollado por la IETF y definido en el RFC 3261. Es un protocolo de señalización y control para establecer llamadas y conferencias en una red IP.

SIP realiza la comunicación empleando dos protocolos: RTP, el cual transporta los datos en tiempo real, y SDP que es usado para la negociación de las capacidades de los clientes.

Este protocolo de VoIP fue diseñado de acuerdo al modelo de Internet, trabaja en la capa de Aplicación y se basa en mensajes de petición y respuesta.

- ✓ H.323: Es el primer estándar internacional de comunicaciones multimedia y tenía la función específica de proveer a los usuarios teleconferencias con capacidades de voz, vídeo y datos sobre redes de conmutación de paquetes.

Hay que considerar, que la comunicación de la voz es analógica, mientras las redes de datos son digitales. Por ello, es necesario contar con un sistema de codificación/decodificación para poder llevar a cabo una comunicación VoIP. Este proceso es llevado a cabo por los denominados códecs.

Hay diversas maneras de convertir la voz de analógica a digital, siendo el más sencillo y conocido el procedimiento de Modulación por Codificación de Pulsos (PCM por sus siglas en inglés). De

hecho, muchas de las otras formas son variaciones o mejoras de PCM.

Entre los códecs más conocidos se puede citar: G.711, G.721, G.723, G.726, G.727, G.729, iLBC, EVRC, DVI, entre otros. De ellos, los más empleados más usualmente son G.711, G.723 y G.729.

Dado que las comunicaciones VoIP ocurren en tiempo real, es importante tomar en cuenta que los parámetros mencionados anteriormente (jitter, delay, pérdida de paquetes) constituyen una preocupación inherente en este tipo de comunicaciones, y su debido control y atenuación es imprescindible para lograr ofrecer una buena calidad de servicio.

- ✓ Pérdida de paquetes: Dado que las comunicaciones en tiempo real se se basan en el protocolo UDP (no orientado a la conexión), si ocurre una pérdida de algún paquete, este no se reenvía. De igual manera, si un paquete no llega a tiempo al destino, es descartado.

No obstante, la voz es, en cierta manera, predictiva. Si se pierden paquetes de manera aislada, la voz puede recomponerse y los

resultados aún así son óptimos. El verdadero inconveniente ocurre cuando se pierden varios paquetes consecutivos.

Se recomienda que el porcentaje de paquetes perdidos sea menor al 1%. De esta manera la comunicación no se degrada. Este valor depende en gran medida del códec que se emplee.

- ✓ Jitter: Las comunicaciones en tiempo real son especialmente sensibles a este efecto. Frecuentemente, se debe a enlaces lentos o congestionados. Se recomienda que el jitter entre punto inicial y final de la comunicación esté en valores menores a 100 milisegundos. Si se cumple esta condición, el jitter puede ser compensado de manera apropiada.

- ✓ Retardo: Este es un inconveniente de las redes de telecomunicaciones en general, no solamente de las redes orientadas a la conexión, pero las comunicaciones VoIP son bastante sensibles a este efecto, que se debe a enlaces lentos o congestionados, al igual que el jitter.

El oído humano promedio puede detectar retardos de 250 milisegundos, si supera este valor la comunicación se torna molesta; pero, se recomienda que el valor del retardo entre el punto inicial y el punto final de una comunicación sea inferior a 150 milisegundos.

CAPITULO 3

3. HERRAMIENTAS DE IMPLEMENTACIÓN

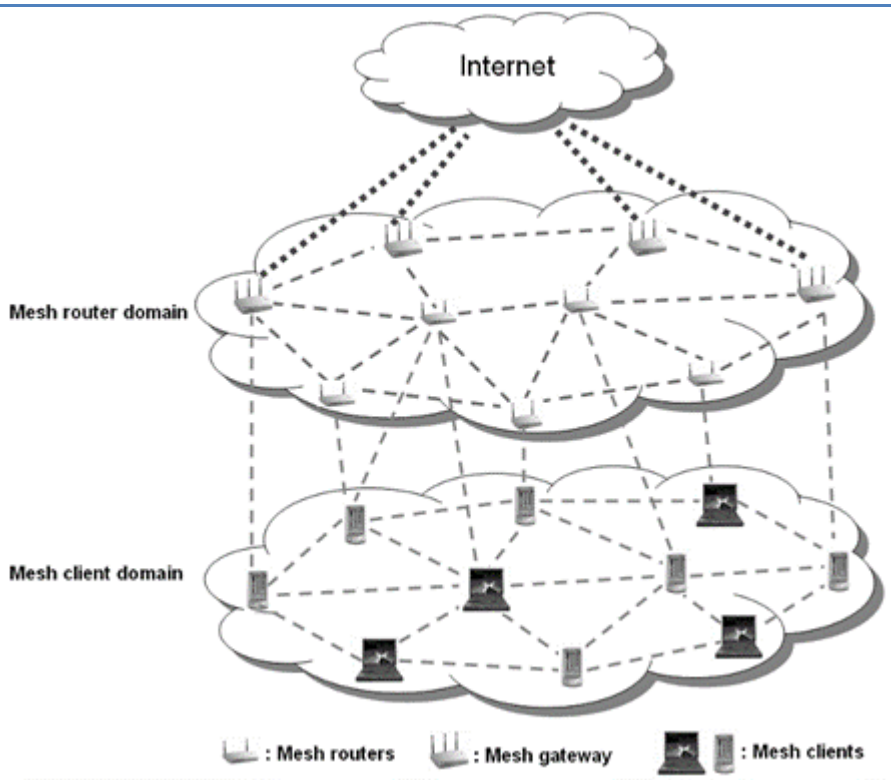
Para este capítulo se detallarán las herramientas usadas en el desarrollo del proyecto, el análisis a detalle de la configuración de cada protocolo y firmware utilizado, además del estudio de la posición de cada enrutador en los diferentes espacios de la facultad.

3.1 Tipos de dispositivos a utilizar en la red Mesh

Las WMN tradicionales se basan en una red de enrutadores estáticos de malla inalámbricos que son los que formarán el backbone, es decir, aquella zona por donde fluirá toda la información importante y a la cual

los clientes acceden a través de éstos enrutadores de malla, tal como se muestra en la Figura 3.1.1 .

Los enrutadores contienen las funciones avanzadas de enrutamiento para brindar soporte de red de malla, esto se cumple puesto que los enrutadores son nodos fijos, sin limitaciones en el suministro de energía al estar conectados directamente a líneas de energía eléctrica, contando con múltiples interfaces inalámbricas ya sea para él en el mismo o en diferentes tecnologías de acceso inalámbrico (4). En este tipo de arquitectura algunos de los enrutadores son llamados *gateways* o puertas de enlace los cuales tienen la característica de estar conectados a Internet. Por el contrario los clientes de malla cumplen el rol de nodos móviles por lo cual generalmente generan consumo limitado de energía por tener que usar baterías.



Fuente: **Wireless Mesh Networks Architectures and Protocols Pag. 26**
Ekram Hossain-- Kin Leung

Figura 3.1: Arquitectura de una red de malla inalámbrica

La tecnología usada para estos dos tipos de dispositivos: enrutadores y clientes de malla es el estándar IEEE 802.11 (a/b/e/g/n), el cual es reconocido por las Redes de Área local inalámbricas (WLAN), por esta razón la amplia variedad de dispositivos 802.11 permite que se produzcan rápidos despliegues de redes inalámbricas de malla. Sin embargo para poder utilizar esta característica debemos tomar en cuenta las modificaciones que requieren tanto los enrutadores como los clientes de malla y de las limitaciones y restricciones que nos presenta el hardware existente (5).

Enrutadores de malla

Los enrutadores de malla o nodos fijos utilizados para la implementación de la red inalámbrica mallada realizada hemos utilizado diferentes tipos de enrutadores según las limitaciones y exigencias que los protocolos de enrutamiento requerían.

De este modo tenemos tres tipos de enrutadores:

- ✓ **Linksys WRT54GL:** Para la implementación de la red utilizando los protocolos BATMAN y OLSR se utiliza cuatro enrutadores de este tipo los cuales representan una versión mejorada del WRT54G, tiene una banda de radio común de 2.4GHZ, soporta también trabajar con equipos Wireless-B de 11 Mbps por lo cual permite migrar estas redes al estándar Wireless-G. La potencia de transmisión es de 15dBm, soporta velocidades de 54Mbps. El resultado final depende de algunos factores, condiciones y variables como por ejemplo la distancia desde el punto de acceso, el volumen del tráfico de la red, la fabricación y materiales, el sistema operativo utilizado, la combinación de productos inalámbricos utilizados, las interferencias y otras condiciones adversas (6).

Fuente: http://www.linksysbycisco.com/EU/es/products/WRT54GL

Figura 3.2: Enrutador Linksys WRT54GL

✓ **Meraki Outdoor:** La red implementada haciendo uso del protocolo Roofnet utiliza cuatro enrutadores Meraki Outdoor, los mismos que son resistentes para ambientes externos brindando grandes distancias de cobertura entre 150 a 350m lo cual permite el fácil despliegue de redes comunitarias, posee una antena omnidireccional que transmite 2dBi. Permite aumentar la señal recibida en caso de que esta sea baja o prácticamente nula. Acepta hasta 54 Mbps de datos útiles (7).

Fuente: http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2340318,00.asp

Figura 3.3: Enrutador Meraki Outdoor

✓ **D-Link DIR-825:** El protocolo WING exigía el uso de enrutadores de gran capacidad y este tipo de enrutadores cubrían la necesidad. Los enrutadores D-Link Dir 825 cubren las frecuencias de 2.4 Ghz y 5 Ghz, siendo compatibles con las normas inalámbricas previas. Su principal característica es la función de calidad de servicio QoS puesto que, detectan automáticamente los contenidos de tipo audio, vídeo juego transmitidos en la red y dándoles prioridad. Soportan los estándares 802.11 a/b/g/n **(8)**.

Fuente: http://es.engadget.com/tag/D-Link+DIR-825/

Figura 3.4: Enrutador D- Link DIR-825

Cliente de malla

Los clientes de malla constituyen los usuarios que se conectan a la red mallada inalámbrica lo cual implica que se producirán envíos de paquetes e información a los nodos fijos provocando que se produzca congestión en la red. Para la implementación realizada utilizamos una laptop que capturaba los paquetes que se enviaban entre los diferentes nodos.

Equipo	Dirección IP	Características
Laptop	DHCP	Toshiba. Intel Atom 2.0Ghz 2GB Ram.

Tabla I - Especificación de cliente de malla

Cliente fijo

En la implementación se procedió a utilizar una computadora la cual estaba ubicada dentro de las instalaciones del CIDIS que era empleada para realizar llamadas usando el servidor de Asterisk registrando dos extensiones, una era usada en la laptop y otra por la computadora; para poder realizar las llamadas correspondimos a emplear softphones.

Equipo	Dirección IP	Características
Computadora	192.168.5.10	Intel Core 2 Duo 2.0 Ghz 2 Gb RAM DDR3.

Tabla II - Especificación de cliente fijo

Software utilizado

Básicamente en la implementación se utilizo dos tipos de software uno para medir la calidad de servicio obtenida por cada uno de los protocolos (wireless site survey) y otro para realizar las llamadas VoIP desde la laptop hasta la computadora.

Wireshark

Fuente: http://comandante-linux.blogspot.com/2011/02/analisis-de-trafico-con-wireshark.html

Figura 3.5: Logo Wireshark

Este software es un rastreador que permite realizar un análisis a detalle del tráfico que circula por las redes, permitiendo al usuario interactuar

con los paquetes en tiempo real (9), en la implementación se utilizó Wireshark con el objetivo de poder analizar los parámetros de pérdida de paquetes, jitter, retardo y pérdida de paquetes VoIP previamente detallados en el Capitulo 2 en base a los paquetes que fluctuaban por la WMN tanto en los enrutadores de malla como en la computadora al momento que se realizaban llamadas las cuales tenían duración de 1 minuto.

Wireshark tiene la funcionalidad de poder realizar análisis estadísticos y gráficos en base a la información recibida, pero este tipo de gráficos no suelen ser exactos por lo cual se procedió a capturar los paquetes RTP para posteriormente ser exportados y poder realizar un programa en Matlab el cual nos presenta esquemas mucho más precisos. El código empleado en Matlab se encuentra incluido en la sección de Anexos.

X-Lite

Fuente: http://martinromero.org/vozipsystem.net/xlite.html

Figura 3.6: Softphone X-Lite

X-Lite es un software gratuito de VoIP que utiliza el Protocolo de Inicio de Sesión (SIP) (10). Este software es una herramienta muy valiosa la cual permite establecer comunicaciones de voz en redes inalámbricas. Además permite realizar videoconferencias y envió de mensajes instantáneos en una sola interfaz. Es compatible con GSM, G.711 y G.723. Para poder hacer el registro de las extensiones se procedió a usar el servidor Asterisk instalado en las oficinas del CIDIS. En la Tabla III se pueden observar las extensiones empleadas en la implementación

Servidor Asterisk Box	Equipo	Dirección IP	Extensión
200.126.12.116	Laptop	DHCP	1006
	Computadora	192.168.5.10	1007

Tabla III - Extensiones utilizadas

3.2 Análisis de la posición de cada router en instalaciones de la FIEC.

La presente tesis La función principal de los protocolos de enrutamiento es de suministrar herramientas que permitan descubrir nuevos caminos hacia el destino final en caso de falla de los enlaces, permitir que exista el balanceo de cargas proporcionando calidad de servicio, en base al tipo de red inalámbrica mallada que se desee implementar, las WMN tienen la particularidad de tener distintos caminos para llegar a un mismo destino, razón por la cual los protocolos de enrutamiento deben suministrar métricas que permitan establecer que la calidad de servicio estará presente a lo largo de la transmisión de la información. Estas métricas deben proveer información sobre el estado del enlace, ya que la variación de un enlace inalámbrico es alta a causa de las condiciones de propagación y de la presencia de los nodos adyacentes que pueden ser los que conforman la red o pueden ser redes cercanas que producen interferencias en las comunicaciones.

La red WMN implementada tiene como objetivo determinar el protocolo de enrutamiento sea éste proactivo o reactivo que cumpla con las características previamente descritas para obtener una comunicación más eficiente en un ambiente compartido con otras redes inalámbricas transmitiendo a la vez en varios canales 802.11.

Para la realización de las pruebas fue necesario que los enrutadores tengan buena línea de vista entre ellos, puesto que la presencia de personas cercanas al lugar provocaba interferencia causando que muchas veces no lograran comunicarse entre sí.

Al momento de ponerlos en una ubicación elevada dejo de presentarse este inconveniente. Se realizó dos tipos de topología una empleada para los protocolos WING, OLSR y BATMAN como se puede observar en la Figura 3.7 y otra para el protocolo Roofnet Figura 3.8.

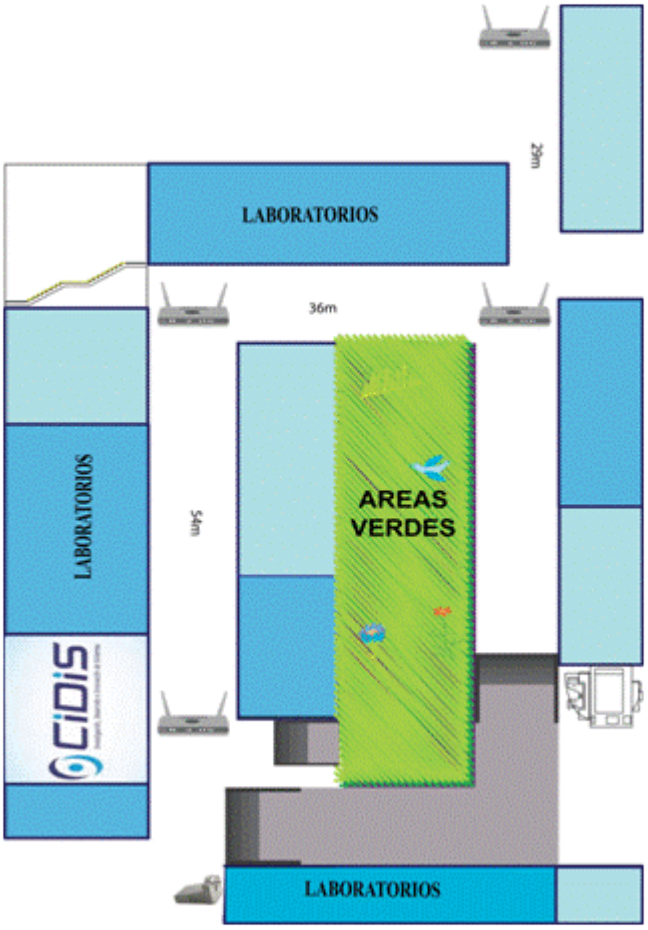


Figura 3.7: Red WMN implementada Protocolo Batman, OLSR y Wing

Cabe acotar que la topología empleada para el protocolo Roofnet fue diferente de la del resto de los protocolos puesto que los enrutadores Meraki Outdoor no lograban comunicarse en la topología ya planteada debido a que eran sensibles al tráfico existente en el camino.

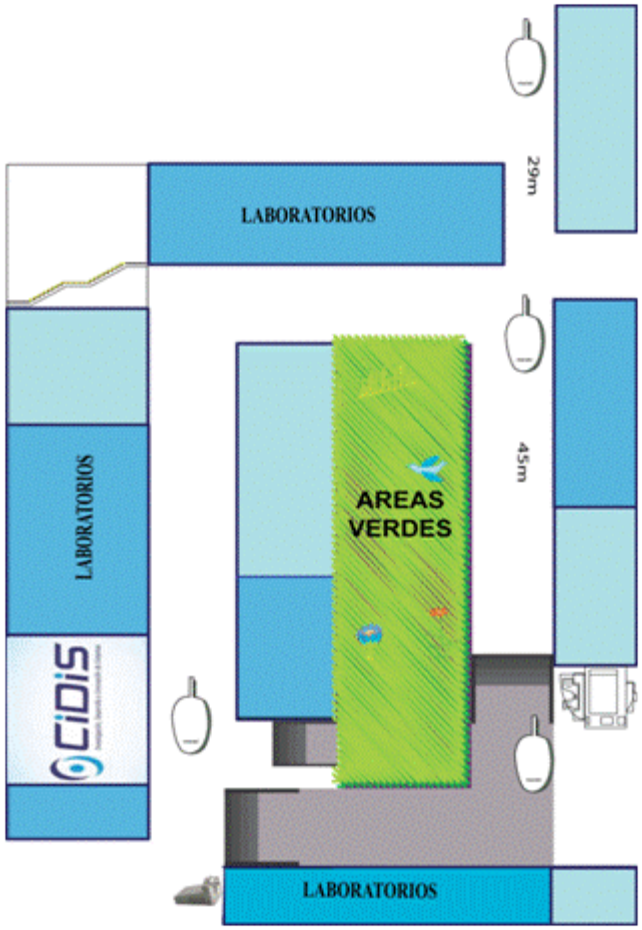


Figura 3.8: Red WMN implementada Protocolo Roofnet

La WMN armada se la procedió a distribuir en cuatro zonas puesto que esto nos permitió realizar una comparación más detallada de la calidad de

servicio brindada por los protocolos. En la Figura 3.9 se puede observar las de la topología de BATMAN el cual utiliza los enrutadores Linksys WRT54GL descritos previamente.

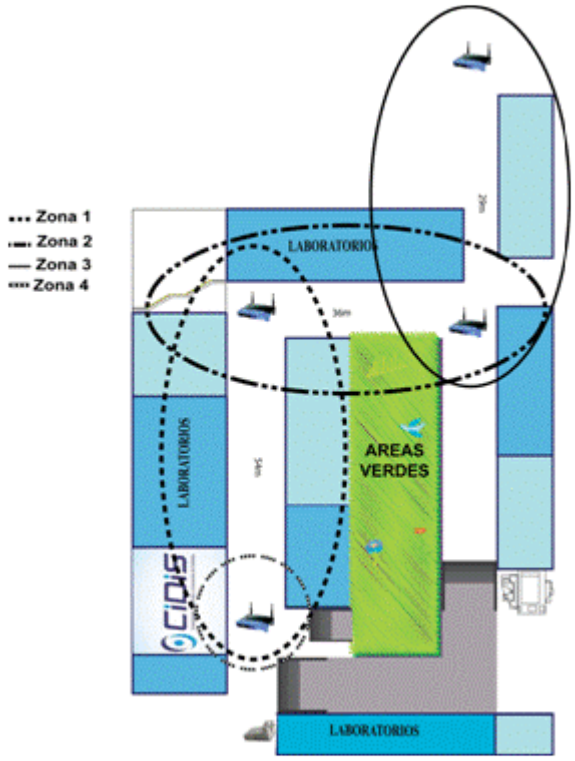


Figura 3.9: Distribución de zonas en protocolo BATMAN

La distribución de las zonas para la topología del protocolo Roofnet se puede observar en la Figura 3.10 .

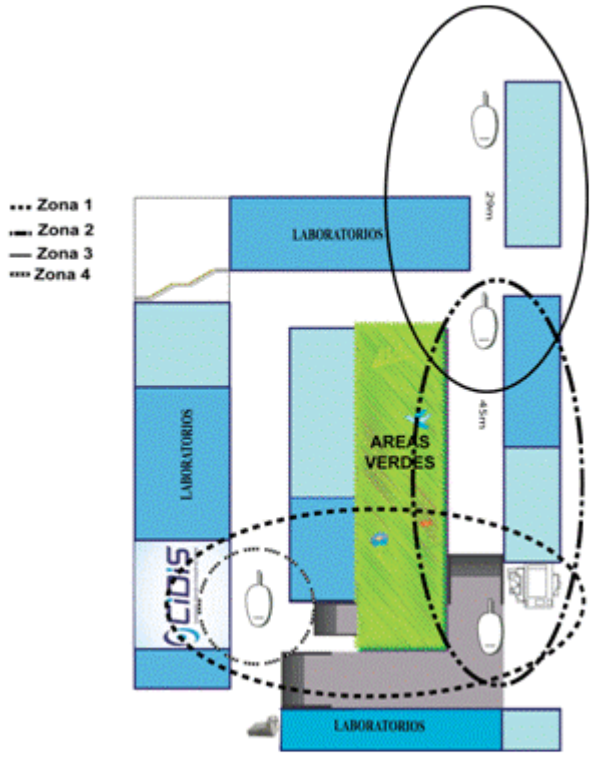


Figura 3.10: Distribución de zonas en protocolo Roofnet

Las zonas realizadas en las dos topologías se encuentran distribuidas tal como se muestra en la tabla IV.

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
Enrutador 1-2	Enrutador 2-3	Enrutador 3-4	Enrutador 1

Tabla IV - Distribución de las zonas

Así mismo las direcciones ip asignadas para cada enrutador las podemos observar en la Tabla V, siendo el enrutador 1 el Gateway para las topologías realizadas para los protocolos OLSR, WING y Roofnet; por el contrario para el protocolo BATMAN se asignó el Enrutador 3 como Gateway:

Enrutador	Dirección IP
Enrutador 1	10.0.1.1
Enrutador 2	10.0.1.2
Enrutador 3	10.0.1.3
Enrutador 4	10.0.1.4

Tabla V - Distribución de las direcciones IP

3.3 Instalación y configuración del firmware (OPENWRT)

OpenWrt es descrito como una entrega de Linux para dispositivos embebidos, porque este firmware no es estático sino que provee un sistema de archivos enteramente configurable por medio del uso de paquetes, permitiendo adaptarse a cualquier tipo de aplicaciones; de esta manera constituye para el desarrollador poder para crear una aplicación sin tener que construir un firmware completo alrededor de ella

y para los usuarios significa la capacidad de personalización completa, para utilizar el dispositivo en múltiples maneras (11).

Este firmware se lo puede trabajar de dos maneras: mediante línea de comandos y mediante una interfaz web grafica web. Existe otro firmware Dd-wrt el cual es un derivado directo de OpenWrt, y la su principal diferencia radica en que Openwrt es más ligero, liviano y por lo tanto necesita menos espacio en Ram y Rom para ser ejecutado o instalado.

En la página web oficial de OpenWrt encontramos un conjunto de paquetes que pueden ser instalados según las características del enrutador que poseemos de esta manera para el desarrollo del proyecto investigamos aquellos paquetes que sean adecuados a los enrutadores a emplear (12).

Linksys WRT54GL

- Dirigirse a la página de descargas de OpenWrt y buscar la versión Kamikaze 8.09 la cual presenta más estabilidad para trabajar. El paquete del firmware escogido fue openwrt-wrt54g-squashfs.bin

- Asignar la dirección de red 192.168.1.2/255.255.255.0 a la computadora en que estemos trabajando para poder conectarse al enrutador por medio del puerto LAN.

- Ingresar vía web al firmware por defecto del enrutador por medio de la dirección:

```
http://192.168.1.1/Upgrade.asp
```

- Dar click en navegar y seleccionar la imagen del firmware que previamente fue descargada. Presionar upgrade, es importante que el enrutador permanezca encendido mientras se realice este proceso para evitar daños al equipo.

- Una vez terminado este proceso el enrutador deja de parpadear, proceder a ingresar al enrutador vía Telnet por medio de la dirección ip 192.168.1.1 usando el programa Putty para configurar una clave de acceso.

```
root@openwrt:~$ passwd
Changing password for root
New password:
Retype password:
Password for root changed by root
root@openwrt:~$
```

- Ingresar por medio SSH siendo el usuario root

```
login as: root
root@192.168.1.1's password:
```

- Luego de realizar el inicio de sesión aparece la imagen inicial de OpenWrt

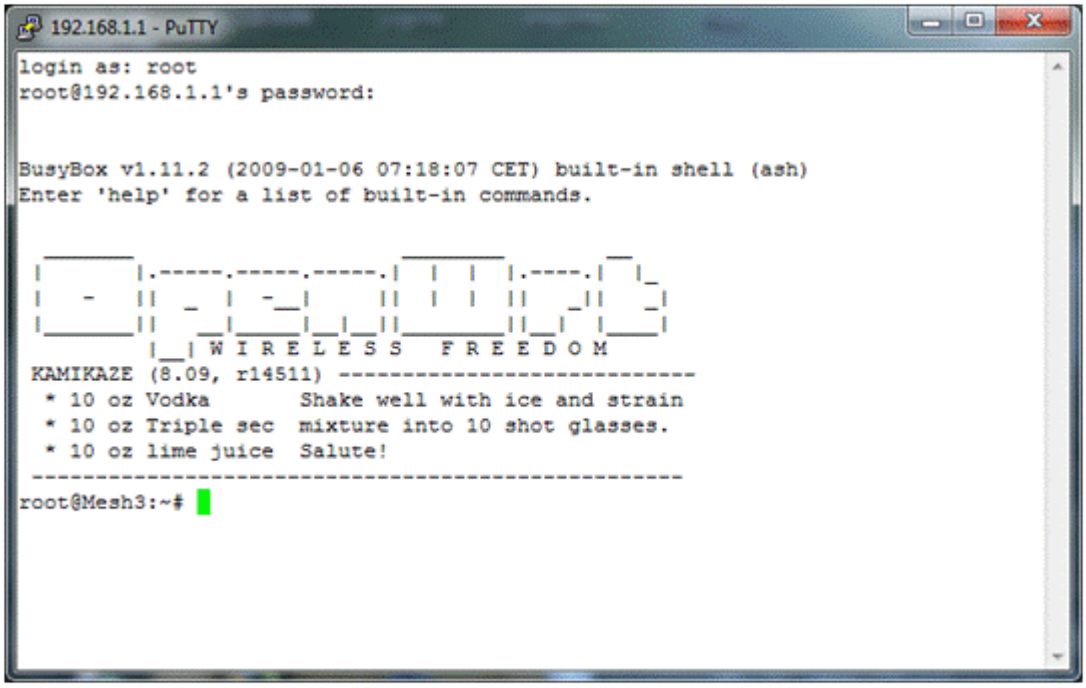


Figura 3.11: Presentación inicial de OpenWrt en Linksys WRT54GL

- Modificar el fichero Firewall el cual es muy importante para habilitar los puertos de acceso para los distintos servicios de OpenWrt, el cual encontramos en el siguiente directorio:

```
root@@openwrt:~# /etc/config/firewall
```

El mismo procedimiento se realiza en los cuatro enrutadores de la red WMN. Se procede a cambiar los parámetros de Entrada, Salida y Reenvío habilitándolos para permitir el flujo de los paquetes en el puerto Lan así como en las configuraciones por defecto.

```
config defaults
      option syn_flood  1
      option input      ACCEPT
      option output     ACCEPT
      option forward    ACCEPT

config zone
      option name       lan
      option input      ACCEPT
      option output     ACCEPT
      option forward    ACCEPT

config zone
      option name       wan
      option input      ACCEPT
      option output     ACCEPT
      option forward    ACCEPT
      option masq       1
```

- Se agrega el campo de la interfaz “wifi” que en el fichero Network; la cual previamente fue creada para permitir el envío de paquetes vía inalámbrica.

```
config 'zone'
      option 'name' 'wifi'
      option 'input' 'ACCEPT'
      option 'output' 'ACCEPT'
      option 'forward' 'ACCEPT'
```

- Agregar dos campos de “forwarding” para aceptar el envío y recepción de datos desde LAN a WAN (viceversa) y desde wifi a WAN (viceversa).

```
config forwarding
      option src      lan
      option dest     wan
      option mtu_fix   1


config forwarding
      option src      wifi
      option dest     wan
      option mtu_fix   1
```

- En el fichero *Wireless* se refiere a los dispositivos de radio físicos presentes en el sistema. En él se describen las propiedades comunes de las redes inalámbricas tales como la selección de la antena, el canal a trabajar.

```
root@@openwrt:~# /etc/config/wireless
```

- Para la configuración final de OpenWrt en los enrutadores Linksys WRT54GL es descargar los siguientes paquetes que son dependencias necesarias para que empiece a funcionar el firmare para lo cual se dirige a la siguiente dirección:

```
http://downloads.openwrt.org/kamikaze/8.09/brcm-2.4/packages/
```

a. - libpthread_0.9.29-14_mipsel.ipk

b .- kernel_2.6.25.17-brcm47xx-1_mipsel.ipk

c .-kmod-tun_2.6.25.17-brcm47xx-1_mipsel.ipk

d .- tcpdump_3.9.8-1_mipsel.ipk

- Se procede a instalar las dependencias:

```
root@OpenWrt:/tmp# opkg install libpthread_0.9.29-14_mipsel.ipk
Installing libpthread (0.9.29-14) to root...
Configuring libpthread
root@OpenWrt:/tmp#
```

```
root@OpenWrt:/tmp# opkg install kernel_2.6.25.17-brcm47xx-
1_mipsel.ipk
Multiple packages (kernel and kernel) providing same name marked
HOLD or PREFER.
  Using latest.
Upgrading kernel on root from 2.4.35.4-brcm2.4-1 to 2.6.25.17-
brcm47xx-1…
Configuring kernel
root@OpenWrt:/tmp#
```

```
root@OpenWrt:/tmp# opkg install kmod-tun_2.6.25.17-brcm47xx-
1_mipsel.ipk
Installing kmod-tun (2.6.25.17-brcm47xx-1) to root...
Configuring kmod-tun
root@OpenWrt:/tmp#
```

```
root@OpenWrt:/tmp# opkg install tcpdump_3.9.8-1_mipsel.ipk
Installing tcpdump (3.9.8-1) to root...
Configuring tcpdump
root@OpenWrt:/tmp#
```

- Cambiar el nombre de cada nodo , para evitar confusiones en el momento de tener toda la red funcional

```
root@@openwrt:~# /etc/config/system
```

El campo hostname se lo cambia por el nombre deseado:

```
config system
      option hostname   Mesh1
      option timezone   UTC
```

- Es importante reiniciar el enrutador luego de hacer los cambios para que se realicen los mismos.

```
root@@openwrt:~# reboot
```

D-Link Dir 825

Hay dos versiones de OpenWrt que pueden ser instalados en este tipo de enrutadores: la última versión (Backfire 10.03.1-rc4 en el momento de la escritura) o la última generación nocturna (nightly build) también llamado Bleeding edge. Hay ventajas y desventajas para ambas opciones (13).

La diferencia común entre estas versiones es que la generación nocturna contiene las últimas actualizaciones y correcciones y permite utilizar todas las características de OpenWrt soportadas actualmente en el enrutador. Sin embargo, esto implica que se puede ser víctima del denominado “bug” que se introdujo recientemente en el firmware. La última versión permite probar más a fondo, y suele ser más seguro. En general, si no se desean correr riesgos se aconseja instalar la última versión, por el contrario si se desea experimentar y escribir scripts instalar la generación nocturna.

Este enrutador tiene el modo de recuperación del firmware lo cual le permite arrancar desde un firmware alternativo y re-flash del enrutador, incluso si se bloquea. Esto lo hace más seguro si se utiliza la generación nocturna. Par el desarrollo del proyecto se escogió la versión nocturna, de esta manera:

- Dirigirse a la página de descargas de OpenWrt y buscar la versión indicada para este tipo de enrutadores, para el caso fue Snaphots

```
http://downloads.openwrt.org/snapshots/trunk/ar71xx/
```

- Escoger el paquete del firmware OpenWrt:

```
openwrt-ar71xx-generic-dir-825-b1-jffs2-factory.bin
```

- Asignar la dirección de red 192.168.0.2/255.255.255.0 a la computadora en que estemos trabajando para poder conectarse al enrutador por medio del puerto LAN.

- Entrar vía web al enrutador (D-Link recomienda usar Internet Explorer) por medio de la dirección 192.168.0.1. El navegador solicita un usuario y clave el cual viene configurado por defecto de fabrica: Usuario: admin y Password: dejarlo en blanco

- Una vez realizado el inicio de sesión se procede a cargar el firmware nuevo. Para ello, dirigirse a:

Tools ⟶ Firmware Update

- Escoger el archivo del firmware previamente descargada seleccionando la ubicación donde fue guardado. Presionar upgrade, no olvidar que no debemos apagar o desconectar

del puerto al enrutador mientras realiza esto debido a que podemos dañarlo definitivamente.

- Ingresar vía Telnet para realizar el cambio de contraseña pero con la dirección 192.168.1.1 debido a que el enrutador cambia su dirección ip después de ingresarle el nuevo firmware, sin olvidar cambiar la dirección de la computadora en la red 192.168.1.0/24

```
root@openwrt:~$ passwd
Changing password for root
New password:
Retype password:
Password for root changed by root
```

- Ingresar por medio de SSH usando como usuario root. La presentación de OpenWrt es:

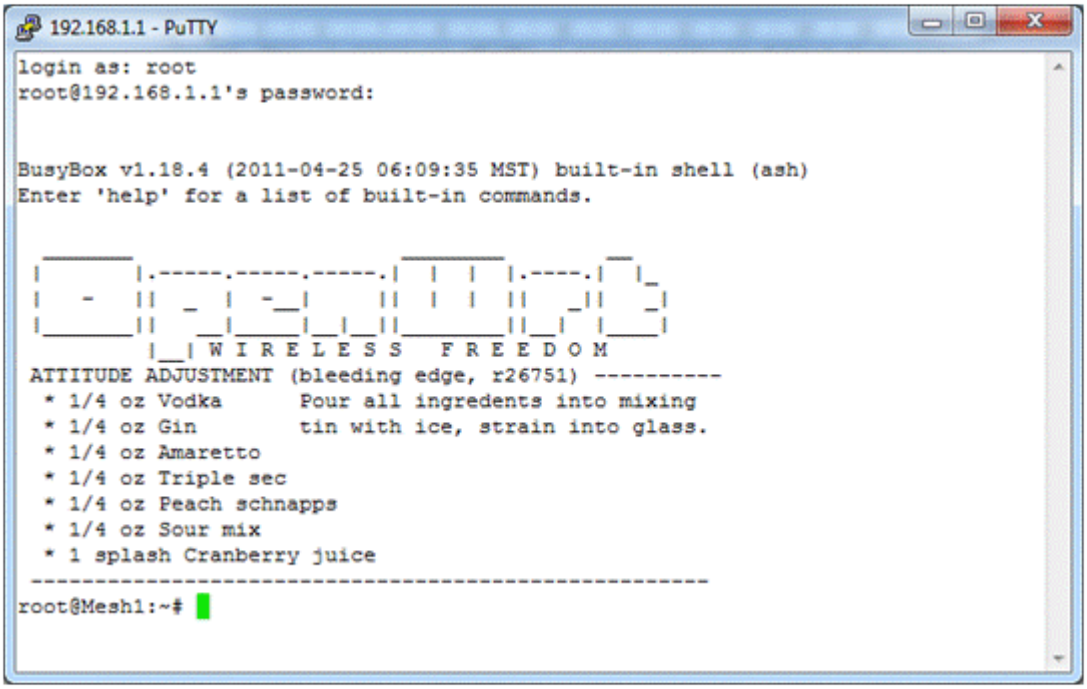


Figura 3.12: Presentación inicial de OpenWrt en D-Link Dir 825

- Descargar de la página de OpenWrt las siguientes dependencias para permitir que el *wireless* del enrutador funcione debido a que es el kernel del wifi y el paquete del WPAD:

  a. kmod-ath9k_2.6.37.6+2011-04-19-3_ar71xx.ipk

  b. wpad-mini_20110421-1_ar71xx.ipk

- Instalar las dependencias:

```
root@OpenWrt:/tmp# opkg update
root@OpenWrt:/tmp# opkg install kmod-ath9k_2.6.37.6+2011-04-19-
3_ar71xx.ipk
Installing .- kmod-ath9k (2.6.37.6+2011-04-19-3) to root...
Configuring kmod-ath9k
root@OpenWrt:/tmp#
```

```
root@OpenWrt:/tmp# opkg install wpad-mini_20110421-1_ar71xx.ipk
Installing wpad-mini (20110421-1) to root...
Configuring wpad-mini
root@OpenWrt:/tmp#
```

- Proceder a modificar el fichero *Wireless* ingresando al directorio:

```
root@@openwrt:~# /etc/config/wireless
```

Este tipo de enrutadores poseen dos radios los cuales manejan las bandas de 2,4Ghz y 5Ghz. Se procedió a configurar un radio en 2,4Ghz y el otro en 5Ghz debido a que este radio funcionará como modo monitor.

```
config wifi-device  radio0
      option type     mac80211
      #option device radio0
      option channel  11
      option macaddr    00:18:e7:f8:67:1d
      option hwmode     11ng
      option htmode     HT20
      list ht_capab     SHORT-GI-40
      list ht_capab     TX-STBC
      list ht_capab     RX-STBC1
      list ht_capab     DSSS_CCK-40
      # REMOVE THIS LINE TO ENABLE WIFI:
      #option disabled 1

config wifi-device  radio1
      option type     mac80211
      option channel  36
      option macaddr    00:18:e7:f8:67:1e
      option hwmode     11ng
      option htmode     HT20
      list ht_capab     SHORT-GI-40
      list ht_capab     TX-STBC
      list ht_capab     RX-STBC1
      list ht_capab     DSSS_CCK-40
      # REMOVE THIS LINE TO ENABLE WIFI:
      #option disabled 1
```

- Modificar el fichero Firewall para habilitar el envío y recepción de datos por medio de los diferentes puertos y también vía inalámbrica.

```
root@@openwrt:~# /etc/config/firewall
```

- Anadir el campo de “wifib” habilitando la entrada, salida de datos; además agregar campos de “forwarding” para aceptar el envío y recepción de datos desde wifib a wan (viceversa) y desde wifib a lan (viceversa) y entre wifib.

```
config 'defaults'
      option 'syn_flood' '1'
      option 'input' 'ACCEPT'
      option 'output' 'ACCEPT'
      option 'forward' 'ACCEPT'

config 'zone'
      option 'name' 'lan'
      option 'input' 'ACCEPT'
      option 'output' 'ACCEPT'
      option 'forward' ''ACCEPT'

config 'zone'
      option 'name' 'wan'
      option 'input' 'REJECT'
      option 'output' 'ACCEPT'
      option 'forward' 'ACCEPT'
      option 'masq' '1'
      option 'mtu_fix' '1'

config 'zone'
      option 'name' 'wifib'
      option 'input' 'ACCEPT'
      option 'output' 'ACCEPT'
      option 'forward' 'ACCEPT'
```

```
config 'forwarding'
      option 'src' 'lan'
      option 'dest' 'wan'

config 'forwarding'
      option 'src' 'lan'
      option 'dest' 'wifib'

config 'forwarding'
      option 'src' 'wifib'
      option 'dest' 'wifib'

config 'forwarding'
      option 'src' 'wifib'
      option 'dest' 'wan'

config 'rule'
      option 'src' 'wan'
      option 'proto' 'udp'
      option 'dest_port' '68'
      option 'target' 'ACCEPT'

config 'rule'
      option 'src' 'wifib'
      option 'proto' 'tcp'
      option 'dest_port' '5001'
      option 'target' 'ACCEPT'

config 'rule'
      option 'src' 'wan'
      option 'proto' 'icmp'
      option 'icmp_type' 'echo-request'
      option 'target' 'ACCEPT'

config 'rule'
      option 'src' 'wifib'
      option 'proto' 'udp'
      option 'dest_port' '698'
      option 'target' 'ACCEPT'

config 'rule'
      option 'src' 'wan'
      option 'proto' 'icmp'
      option 'icmp_type' 'echo-request'
      option 'target' 'ACCEPT'

config 'rule'
      option 'src' 'wifib'
      option 'proto' 'icmp'
      option 'icmp_type' 'echo-request'
      option 'target' 'ACCEPT'

config 'include'
      option 'path' '/etc/firewall.user'
```

- Descargar e instalar las dependencias de la página de descargas de OpenWrt http://downloads.openwrt.org/snapshots/trunk/ar71xx/

  a .- libpcap_1.0.0-2_ar71xx.ipk

  b .- tcpdump_4.0.0-3_ar71xx.ipk

```
root@OpenWrt:/tmp# opkg install libpcap_1.0.0-2_ar71xx.ipk
Installing libpcap (1.0.0-2) to root...
Configuring libpcap.
root@OpenWrt:/tmp# opkg install tcpdump_4.0.0-3_ar71xx.ipk
Installing tcpdump (4.0.0-3) to root...
Configuring tcpdump.
```

3.4 Instalación de Asterisk en servidor

Para las pruebas de llamadas fue necesario utilizar Asterisk, el cual es una implementación de software libre que funciona como una PBX en una computadora, el cual actúa en Linux permitiendo que se realicen llamadas VoIP en tres protocolos: ADSI, SIP y H323 y puede interoperar con equipos de telefonía estándar básicas usando un hardware relativamente sin costo.

Elastix es una aplicación de software libre con ciertas restricciones puesto que tiene licencia GPL que integra en una única interface la cual es muy manejable, junto con las mejores herramientas disponibles para centrales telefónicas PBX basadas en Asterisk. Agrega su propio conjunto de utilitarios que permiten la creación de módulos de terceros. Estas características junto con la capacidad de generar reportes lo hace una buena opción para la implementación de una PBX basada en Asterisk.

Fuente: http://www.elastix.org/

Figura 3.13: Logo de Elastix

Las características de la computadora donde fue instalado el servidor de Elastix se las puede observar en la tabla VI:

Característica	Valor
CPU	GenuineIntel Intel(R) Celeron(R) CPU 2.00GHz
Disco Duro	80 GB
Memoria RAM	512
Sistema Operativo	CentOS 5

Tabla VI - Especificaciones del Servidor

Las extensiones (1006 y 1007) que fueron creadas en el servidor Elastix para la implementación se las puede observar en la Figura 3.4.2, las cuales fueron previamente descritas en el capítulo 2.

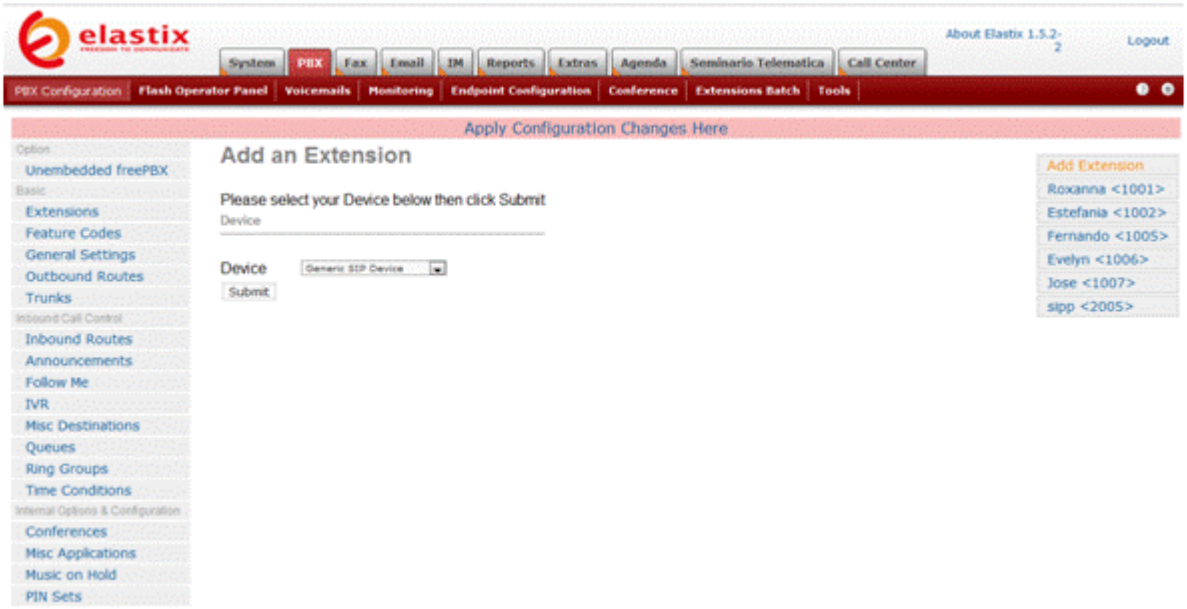


Figura 3.14: Extensiones en servidor Elastix

3.5 Instalación y configuración de B.A.T.M.A.N.

- Dirigirse a la página de descargas de OpenWrt

```
http://downloads.openwrt.org/kamikaze/8.09/brcm-
2.4/
```

- Descargar la dependencia battool necesaria para poder instalar el protocolo y desacargar el paquete de B.A.T.M.A.N

  a.- battool_r1176-1_mipsel.ipk

  b.- batmand_r1206-1_mipsel.ipk

- Instalar la dependencia:

```
root@Mesh1:/tmp# opkg install battool_r1176-
1_mipsel.ipk
Installing battool(2 r1176-1) to root...
Configuring battool
```

- Instalar el paquete que contiene a B.A.T.M.A.N:

```
root@Mesh1:/tmp# opkg install batmand_r1206-
1_mipsel.ipk
Installing batmand(2 r1206-1) to root...
Configuring batmand
```

- Ingresar al fichero:

```
/etc/init.d/batmand
```

Cambiar el valor de START a 99 segundos debido a que el valor por defecto es 43 es un tiempo muy corto debido a que BATMAN aún se está iniciando luego del reinicio.

- Escribir el comando de habilitación de BATMAN seguido del “&” que permite mantener activo el protocolo.

```
root@Mesh1:~# /etc/init.d/batmand enable &
```

- Para modificar la red se ingresa al directorio:

```
root@@openwrt:~# /etc/config/network
```

Se configuran las direcciones IP de cada enrutador del puerto LAN, loopbacks y VLANs. Se agrega la sección de “wifi” para proceder a activar la parte inalámbrica del enrutador puesto que por defecto viene desactivado.

La diferencia ente la puerta de enlace y los enrutadores radica en que en el campo de configuración de la interfaz wifi, la puerta de enlace tiene la línea de de “option DNS” para poder conectarse a Internet.

- **Configuración del Gateway:**

```
#### VLAN configuration
config switch eth0
      option vlan0      "0 1 2 3 5*"
      option vlan1      "4 5"


#### Loopback configuration
config interface loopback
      option ifname     "lo"
      option proto      static
      option ipaddr     127.0.0.1
      option netmask    255.0.0.0

#### LAN configuration
config interface lan
      option type       bridge
      option ifname     "eth0.0"
      option proto      static
      option ipaddr     192.168.0.1
      option netmask    255.255.255.0

#### WAN configuration
config interface  wan
      option ifname     "eth0.1"
      option proto      dhcp

config interface wifi
      option proto static
      option ipaddr 10.0.1.3
      'netmask' 255.255.255.0
      option ifname "eth0.2"
      option 'dns' 8.8.8.8
```

La dirección de la interfaz inalámbrica es 10.0.1.3 y la dirección del DNS 8.8.8.8

- **Configuración de enrutadores de malla**

  Enrutador 10.0.1.1

```
config interface wifi
      option proto static
      option ipaddr 10.0.1.1
      option 'netmask' 255.255.255.0
      option 'gateway' 10.0.1.3
```

  Enrutador 10.0.1.2

```
config interface wifi
      option proto static
      option ipaddr 10.0.1.2
      option 'netmask' 255.255.255.0
      option 'gateway' 10.0.1.3
```

  Enrutador 10.0.1.4

```
config interface wifi
      option proto static
      option ipaddr 10.0.1.4
      option 'netmask' 255.255.255.0
      option 'gateway' 10.0.1.3
```

- Modificar el fichero de las interface inalámbricas ingresando al fichero */etc/config/wireless* añadiendo lo siguiente:

```
config wifi-device  wl0
      option type     broadcom
      option channel  1

config 'wifi-iface'
      option 'device' 'wl0'
      option 'network' 'wifi'
      option 'mode' 'adhoc'
      option 'ssid' 'PTTnet'
      option 'encryption' 'none'
```

Una vez realizado los cambios necesarios se pueden observar que los paquetes de BATMAN se están enviando por medio de comandos que permiten observar la depuración en sus cinco diferentes niveles:

0 depuración deshabilitada

1 lista los vecinos

2 lista de puertas de enlace

3 permite observar el envió de paquetes BATMAN

4 observe permite observar el envió de paquetes BATMAN con más detalle.

5 memoria en uso

```
root@Mesh1:~# batmand -d 1 wl0
```

Los paquetes de BATMAN capturados por el programa Wireshark se los observa de la siguiente manera:

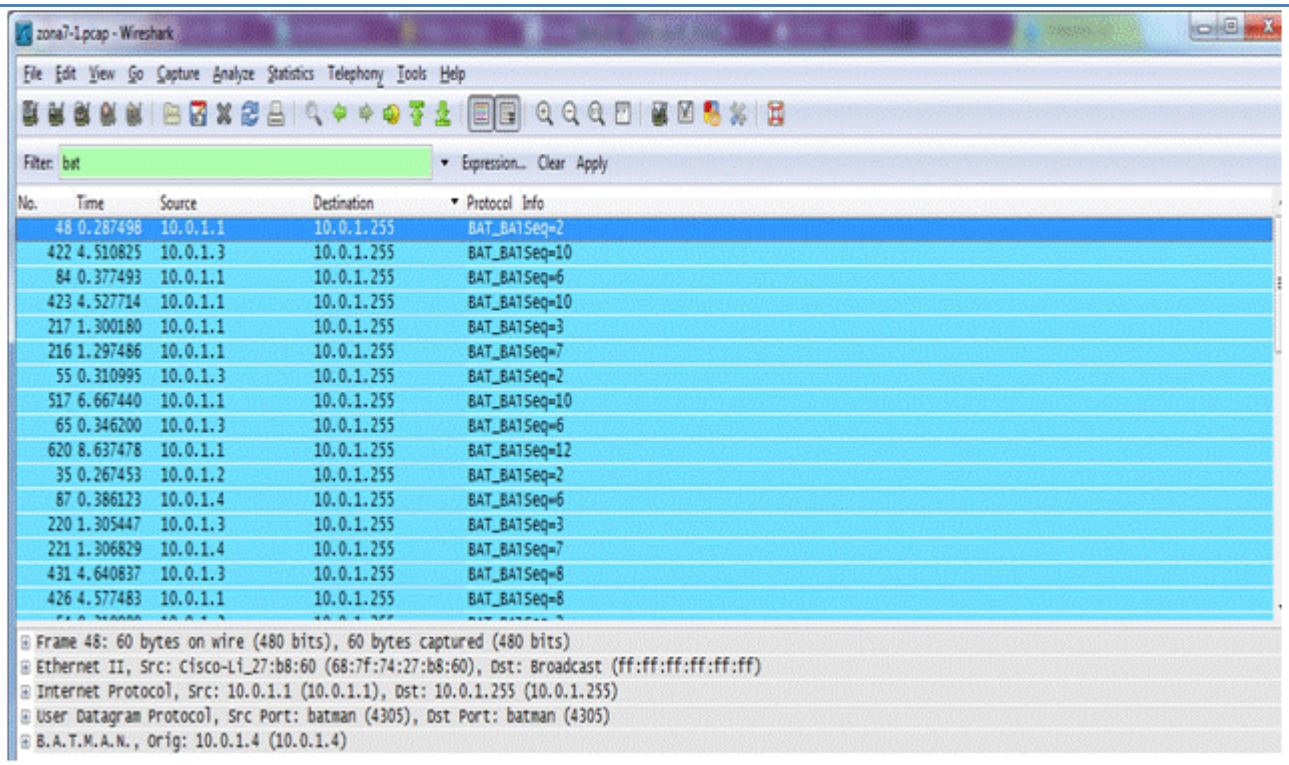


Figura 3.15: Captura de paquetes BATMAN en Wireshark

3.6 Instalación y configuración de Roofnet.

Existen diversas aplicaciones comerciales para el protocolo de enrutamiento Roofnet, tales como la empresa Meraki la cual ha desarrollado diversos dispositivos basados exclusivamente en este protocolo tales como: mini repetidores de bajo costo, antenas resistentes

a efectos ultravioletas, enrutadores para ambientes internos como externos como es el caso del enrutador Meraki Outdoor que es el utilizado en la implementación realizada. Este tipo de enrutadores no solo permiten el despliegue sencillo de la WMN sino también ampliarla fácilmente y de forma barata. Meraki no es un ambiente abierto como lo es OpenWrt por lo cual para poder capturar los paquetes que circulan por la red únicamente se capturan los que pasan por la laptop y por la computadora al momento de realizar las llamadas. Para empezar a utilizar los enrutadores se procede de la siguiente manera:

- Ingresar a la página de Meraki y proceder a crearse una cuenta para poder realizar el inicio de sesión.

```
http://dashboard.meraki.com
```

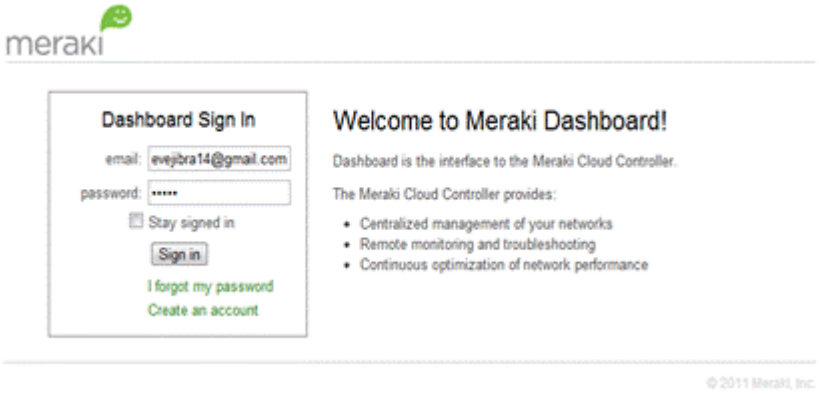


Figura 3.16: Inicio de sesión en página de Meraki

- Una vez realizado el inicio de sesión, registrar cada uno de los enrutadores escribiendo la dirección MAC de cada uno de ellos la cual se encuentra en la parte posterior del enrutador.
- Los Meraki Outdoor se auto- configuran y aparece un mapa de Google en donde se pueden observar los nodos desplegados como se puede observar en la Figura 3.6.2 .

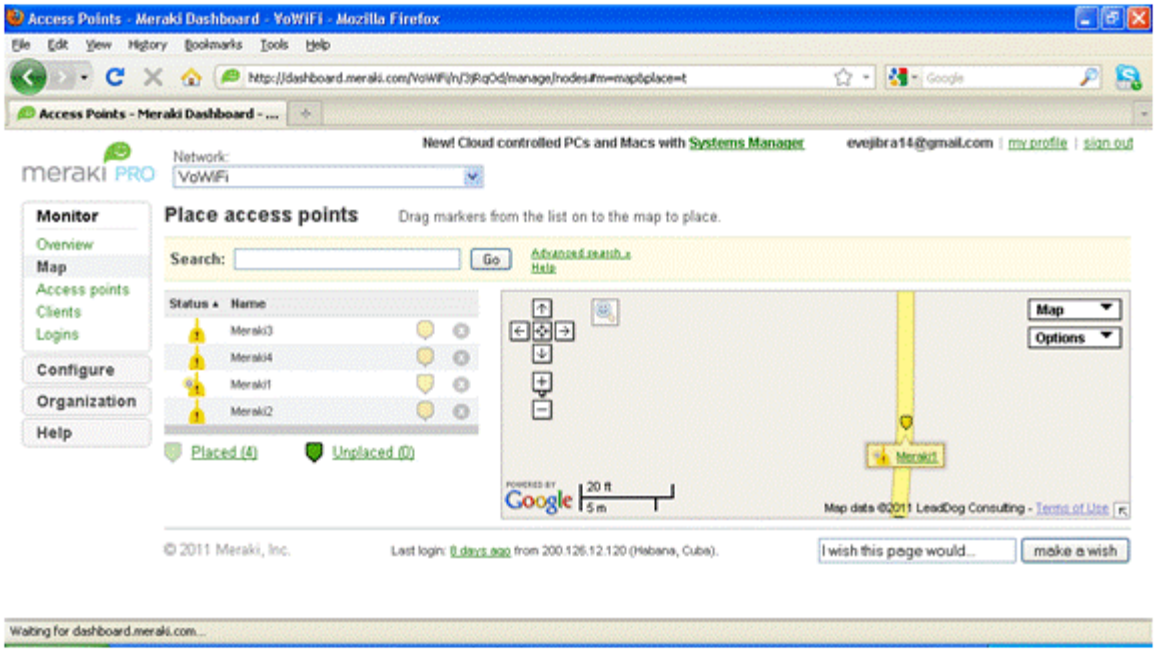


Figura 3.17: Nodos de la Red WMN Roofnet

La administración de la red se la hace por entero en este panel Dashboard tales como: configurar varios aspectos de la red, el SSID de la

red, el canal de frecuencia que utiliza. El panel indica también cuántos usuarios están conectados y la cantidad de datos que han descargado en conjunto tal y como se observa en la Figura 3.6.3

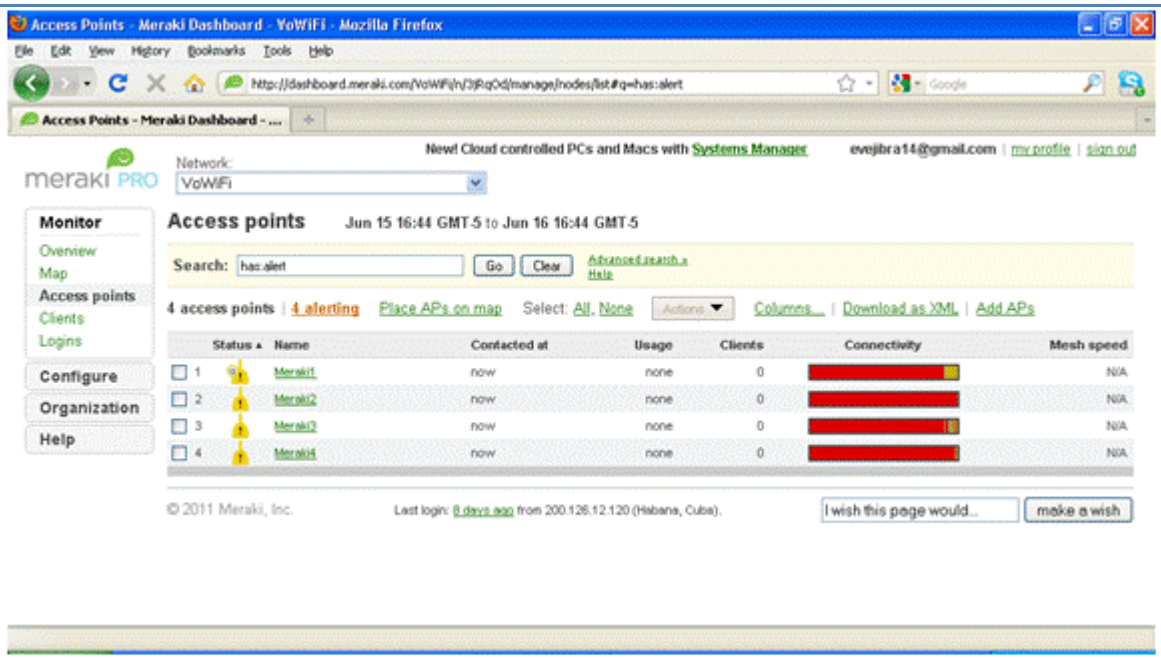


Figura 3.18: Administración de la Red WMN Roofnet

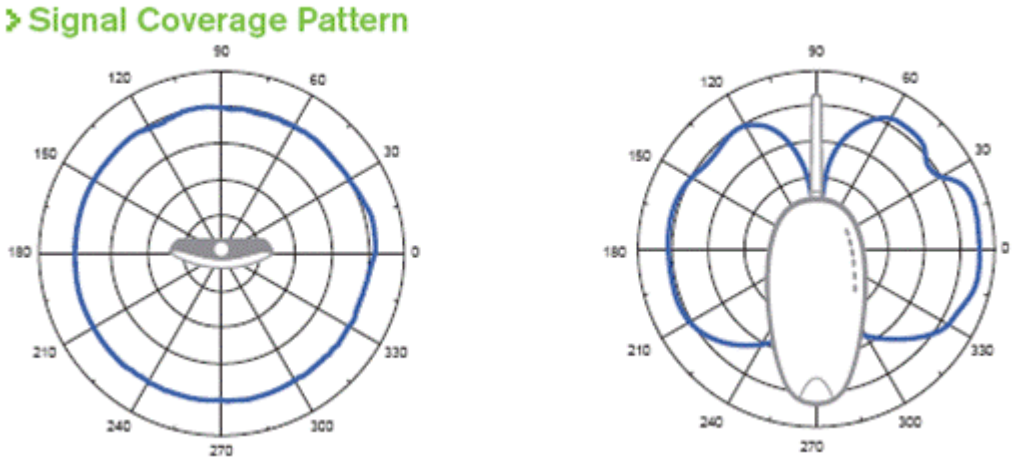
- Ingresando vía browser a la dirección 10.128.128.128 podemos interactuar con cada enrutador para lo cual se debe iniciar sesión:

```
User: Meraki
Password: Dirección Mac de cada enrutador
```

- Por este medio se puede configurar la dirección IP de cada

enrutador y como observar los nodos adyacentes para cada uno de ellos.

- Es preferible que la posición de los enrutadores sea vertical para que la propagación de la señal sea más eficiente y pueda tener más cobertura el enrutador como se detalla en la Figura 3.6.4



Fuente: http://meraki.com/products/hotzones/od2#tech-specs

Figura 3.19: Propagación de la señal del Meraki Outdoor

3.7 Instalación y configuración de Wing

- Dirigirse a la página de descargas de OpenWrt y buscar la versión que corresponde al enrutador (14).

```
http://downloads.openwrt.org/snapshots/trunk/ar71xx
/packages/
```

- Descargar las dependencias necesarias para la instalación del protocolo:
  a. kmod-tun_2.6.37.6-1_ar71xx.ipk
  b. libpcap_1.0.0-2_ar71xx.ipk
  c. libstdcpp_linaro-68_ar71xx.ipk
- Instalar las dependencias previamente descargadas:

```
root@Mesh1:/tmp# opkg install kmod-tun_2.6.37.6-
1_ar71xx.ipk
Installing kmod-tun (2.6.37.6-1) to root...
Configuring kmod-tun
```

```
root@Mesh1:/tmp# opkg install libpcap_1.0.0-
2_ar71xx.ipk
Installing libpcap (1.0.0-2) to root...
Configuring libpcap
```

```
root@Mesh1:/tmp# opkg install libstdcpp_linaro-
68_ar71xx.ipk
Installing libstdcpp_linaro(68) to root...
Configuring libpcap
```

- Descargar el paquete del protocolo Wing que se encuentra en la página de descargas previamente mencionada:

```
wing_20110329-2_ar71xx.ipk
```

- Proceder a instalar el paquete

```
root@Mesh1:/ opkg install wing_20110329-
2_ar71xx.ipk
Installing wing (20110329-2) to root...
Configuring wing
```

- Ingresar al fichero de red:

```
root@@openwrt:~# /etc/config/network
```

Para la puerta de enlace se procede a modificar la dirección del campo WAN añadiéndole la opción de DNS, opción de mascara y opción de puerta de enlace para poder conectarse a direcciones IP públicas, además agregar el campo “interface wifib” para configurar la dirección inalámbrica del enrutador así como la opción de DNS. Ademas se agrega el campo *interface mesh* el mismo que contiene el soporte para el protocolo Wing; quedando configurado de la siguiente manera:

Configuración de la puerta de enlace

```
config 'interface' 'loopback'
      option 'ifname' 'lo'
      option 'proto' 'static'
      option 'ipaddr' '127.0.0.1'
      option 'netmask' '255.0.0.0'

config 'interface' 'lan'
      option 'ifname' 'eth0.1'
      option 'type' 'bridge'
      option 'proto' 'static'
      option 'ipaddr' '192.168.1.1'
      option 'netmask' '255.255.255.0'

config 'interface' 'wan'
      option 'ifname' 'eth1'
      option 'proto' 'dhcp'
      option proto     static
      option 'ipaddr' '200.126.12.117'
      option 'netmask' '255.255.255.0'
      option 'gateway' '200.126.12.1'
      option 'dns' ' 200.9.176.5 192.188.59.2 192.188.59.2'

config 'interface' 'wifib'
      option 'proto' 'static'
      option 'ipaddr' '10.0.1.1'
      option 'netmask' '255.255.255.0'
      option 'dns' '8.8.8.8'

config 'switch'
      option 'name' 'rtl8366s'
      option 'reset' '1'
      option 'enable_vlan' '1'

config 'switch_vlan'
      option 'device' 'rtl8366s'
      option 'vlan' '1'
      option 'ports' '0 1 2 3 5t'

config 'interface' 'mesh'
      option 'proto' 'wing'
      option 'profile' 'bulk'
      option 'rc' 'minstrel'
      option 'ls' 'fcfs'
      option 'metric' 'wcett'
      option 'prefix' '6'
      option 'period' '10000'
      option 'tau' '100000'
      option 'debug' 'true'
```

En los enrutadores de malla difiere únicamente en su configuración los campos de Wan y la interface “wifib”.

Enrutador 10.0.1.2

```
config 'interface' 'wan'
      option 'ifname' 'eth1'
      option 'proto' 'dhcp'

config interface  wifib
      option proto      static
      option ipaddr     10.0.1.2
      option netmask    255.255.255.0
      option gateway    10.0.1.1
     option dns  8.8.8.8
```

Enrutador 10.0.1.3

```
config 'interface' 'wan'
      option 'ifname' 'eth1'
      option 'proto' 'dhcp'

config interface  wifib
      option proto      static
      option ipaddr     10.0.1.3
      option netmask    255.255.255.0
      option gateway    10.0.1.1
     option dns  8.8.8.8
```

Enrutador 10.0.1.4

```
config 'interface' 'wan'
      option 'ifname' 'eth1'
      option 'proto' 'dhcp'

config interface  wifib
      option proto      static
      option ipaddr     10.0.1.4
      option netmask    255.255.255.0
      option gateway    10.0.1.1
     option dns  8.8.8.8
```

No es necesario configurar *ifname* para esta interfaz, pues automáticamente este se deriva del nombre definido en *interface.* Asi, el nombre en este caso será **wing-mesh.**

La dirección IP es generada automáticamente por los scripts de inicialización utilizando los últimos 3 bytes de la primera interfaz inalámbrica que se utiliza para construir la red de backhaul. Las interfaces de red que usan este protocolo están asociadas a una interfaz de TAP, que se configura como $prefijo.X.X.X para el caso de la implementación empezara con 6.X.X.X

- Modificar el fichero */etc/config/wireless* en donde este protocolo exige que al menos una interfaz debe operar en modo monitor y la otra en modo ad-hoc (15). Con lo cual se obtiene:

```
      config wifi-device  radio0
      option type     mac80211
      #option device radio0
      option channel  11
      option macaddr    00:18:e7:f8:67:1d
      option hwmode     11ng
      option htmode     HT20
      list ht_capab     SHORT-GI-40
      list ht_capab     TX-STBC
      list ht_capab     RX-STBC1
      list ht_capab     DSSS_CCK-40
      # REMOVE THIS LINE TO ENABLE WIFI:
      #option disabled 1

config wifi-iface
      option device   radio0
      option network  wifib
      option mode     adhoc
      option ssid     Prueba_wing
      #option encryption none
```

```
config wifi-device  radio1
      option type     mac80211
      option channel  36
      option macaddr    00:18:e7:f8:67:1e
      option hwmode     11ng
      option htmode     HT20
      list ht_capab     SHORT-GI-40
      list ht_capab     TX-STBC
      list ht_capab     RX-STBC1
      list ht_capab     DSSS_CCK-40
      # REMOVE THIS LINE TO ENABLE WIFI:
      #option disabled 1

config wifi-iface
      option device   radio1
      option network  wific
      option mode     monitor
      option ssid     WingTest
```

- Modificar el fichero Firewall */etc/config/firewall* añadiendo el campo que incluye la interface mallada con lo cual el fichero queda configurado finalmente de esta manera:

```
config 'defaults'
      option 'syn_flood' '1'
      option 'input' 'ACCEPT'
      option 'output' 'ACCEPT'
      option 'forward' 'ACCEPT'

config 'zone'
      option 'name' 'lan'
      option 'input' 'ACCEPT'
      option 'output' 'ACCEPT'
      option 'forward' ''ACCEPT'

config 'zone'
      option 'name' 'wan'
      option 'input' 'REJECT'
      option 'output' 'ACCEPT'
      option 'forward' 'ACCEPT'
      option 'masq' '1'
      option 'mtu_fix' '1'
```

```
config 'zone'
      option 'name' 'wifib'
      option 'input' 'ACCEPT'
      option 'output' 'ACCEPT'
      option 'forward' 'ACCEPT'

config 'forwarding'
      option 'src' 'lan'
      option 'dest' 'wan'

config 'forwarding'
      option 'src' 'lan'
      option 'dest' 'wifib'

config 'forwarding'
      option 'src' 'wifib'
      option 'dest' 'wifib'

config 'forwarding'
      option 'src' 'wifib'
      option 'dest' 'wan'

config 'rule'
      option 'src' 'wan'
      option 'proto' 'udp'
      option 'dest_port' '68'
      option 'target' 'ACCEPT'

config 'rule'
      option 'src' 'wifib'
      option 'proto' 'tcp'
      option 'dest_port' '5001'
      option 'target' 'ACCEPT'

config 'rule'
      option 'src' 'wan'
      option 'proto' 'icmp'
      option 'icmp_type' 'echo-request'
      option 'target' 'ACCEPT'

config 'rule'
      option 'src' 'wifib'
      option 'proto' 'udp'
      option 'dest_port' '698'
      option 'target' 'ACCEPT'

config 'rule'
      option 'src' 'wan'
      option 'proto' 'icmp'
      option 'icmp_type' 'echo-request'
      option 'target' 'ACCEPT'
```

```
config 'rule'
      option 'src' 'wifib'
      option 'proto' 'icmp'
      option 'icmp_type' 'echo-request'
      option 'target' 'ACCEPT'

config 'include'
      option 'path' '/etc/firewall.user'

config 'zone'
      option 'name' 'mesh'
      option 'input' 'ACCEPT'
      option 'output' 'ACCEPT'
      option 'forward' 'ACCEPT'
      option 'masq' '1'

config 'forwarding'
      option 'src' 'lan'
      option 'dest' 'mesh'

config 'forwarding'
      option 'src' 'mesh'
      option 'dest' 'wan'
```

- Una vez realizados los cambios necesarios en los ficheros se levanta la interfaz de malla con el comando:

```
root@Mesh1:~# ifup mesh
```

- Los controladores del protocolo se denominan *handler* con ellos se puede escribir, leer rutas, gateways; siendo los comandos usados

  lt.routes Solo de lectura, permite conocer los vecinos adyacentes al enrutador.

lt.links	Solo de lectura, indica los enlaces conocidos para el enrutador actualmente
.lt.hosts	Solo de lectura, lista los hosts que conoce actualmente el nodo local.

Las Ip's asignadas dinámicamente para cada enrutador son:

Equipo	Dirección IP
Enrutador 1	6.248.103.30
Enrutador 2	6.250.45.194
Enrutador 3	6.248.58.65
Enrutador 4	6.248.148.42

Tabla VII: Direcciones Ip's Protocolo Wing

Los controladores permiten observar el correcto funcionamiento de la red WMN con Wing, debido a que éste protocolo aun no cuenta con un filtro para poder ser observado por medio de Wireshark. Los resultados obtenidos para cada enrutador solo los siguientes:

Enrutador 1

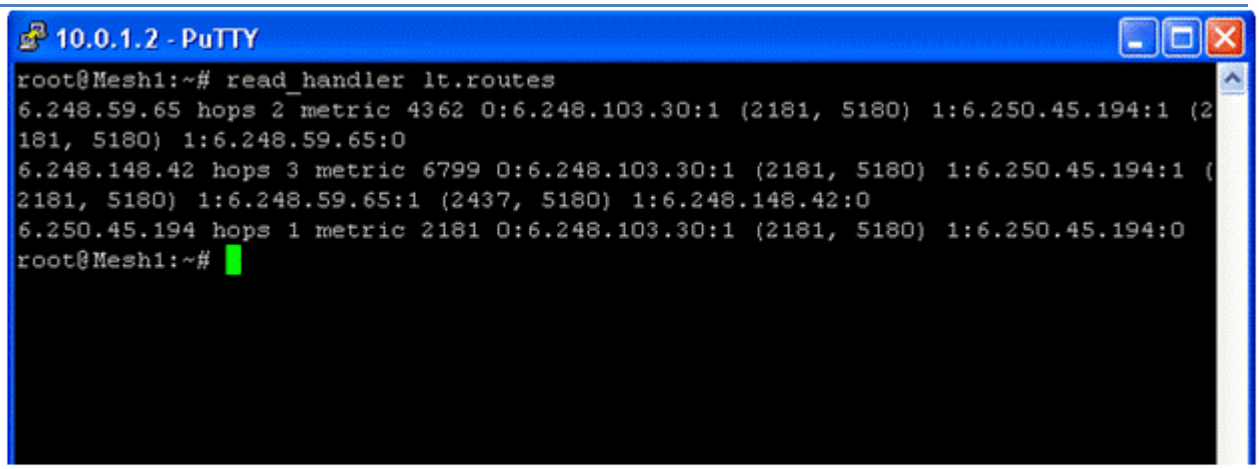


Figura 3.20: Rutas creadas dinámicamente- Enrutador 1

Enrutador 2

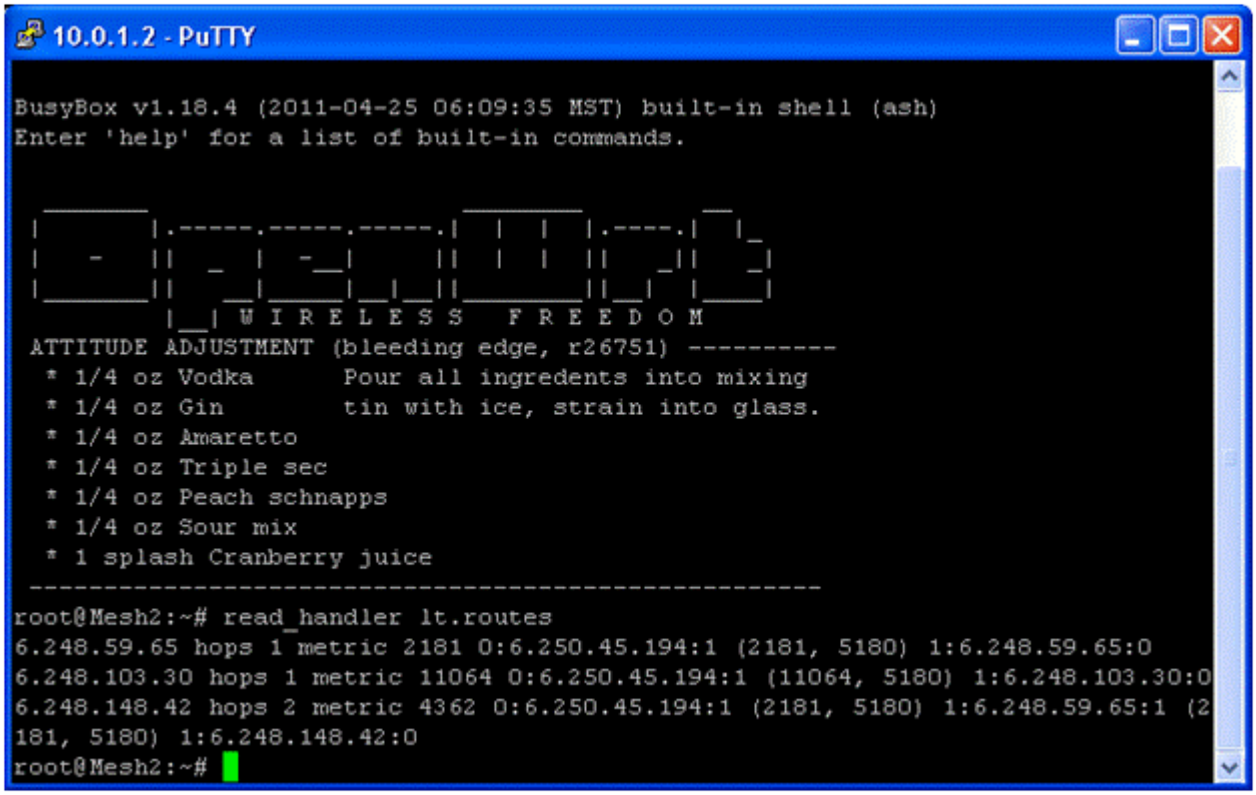


Figura 3.21: Rutas creadas dinámicamente- Enrutador 2

Enrutador 3

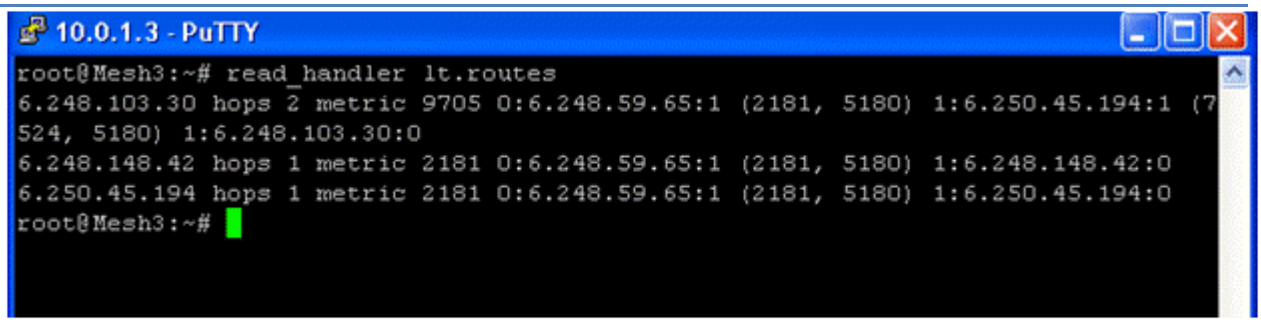


Figura 3.22: Rutas creadas dinámicamente- Enrutador 3

Enrutador 4

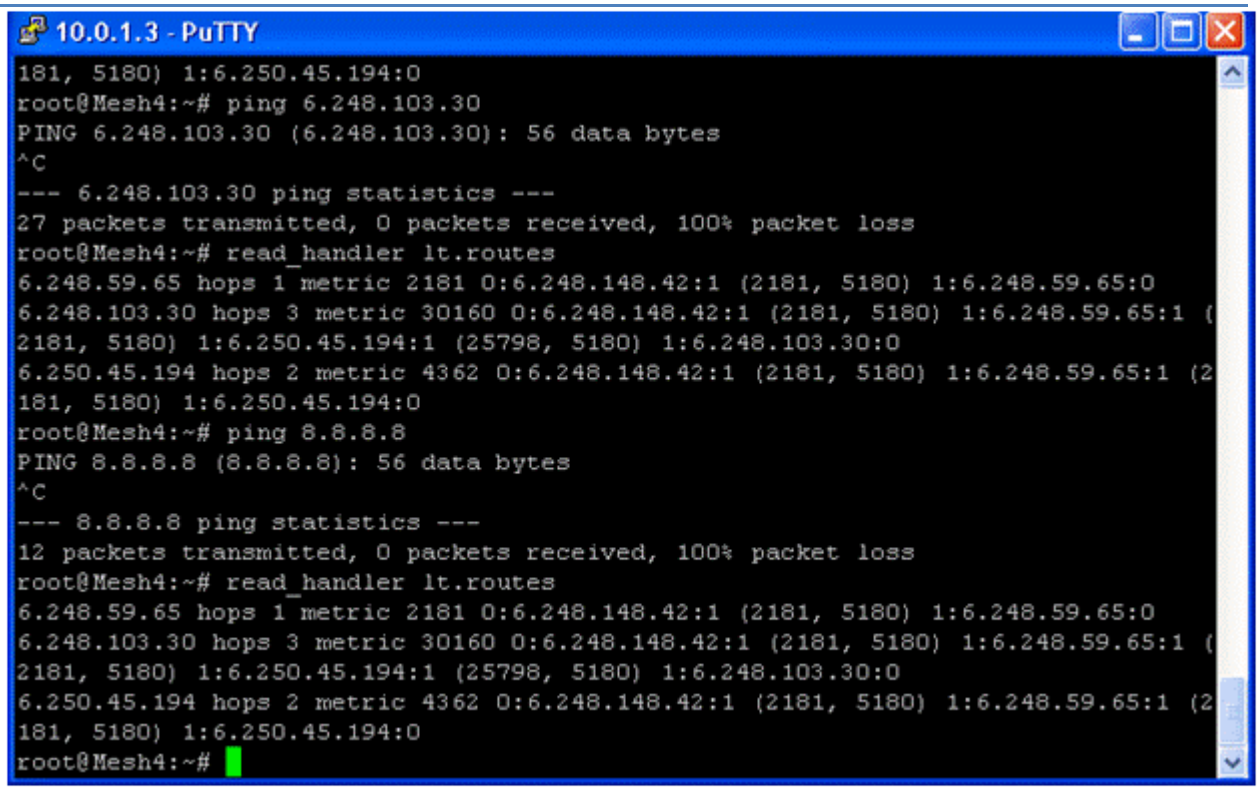


Figura 3.23: Rutas creadas dinámicamente- Enrutador 4

3.8 Instalación y configuración de O.L.S.R.

- Descargar el paquete de O.L.S.R. desde la página de descargas de OpenWrt correspondiente a la versión de Kamikaze que se esté utilizando(16):

```
olsrd_0.5.6-r3-2_mipsel.ipk
```

- Instalar el paquete:

```
root@Mesh1:/tmp# opkg install olsrd_0.5.6-r3-
2_mipsel.ipk
Installing olsrd (0.5.6-r3-2) to root...
Configuring olsrd
```

- Ingresar al fichero */etc/config/wireless* y modificar la interface inalámbrica que será utilizada para la red WMN el cual *wl0* es el identificador interno para OpenWrt que indica que es un dispositivo inalámbrico, y *broadcom* indica el típo de driver a usar.

```
config wifi-device  wl0
  option type     broadcom
  option channel  11

  # REMOVE THIS LINE TO ENABLE WIFI:
  #option disabled 1

config 'wifi-iface'
  option 'device' 'wl0'
  option 'network' wifi
  option 'mode' 'adhoc'
  option 'ssid' 'MeshTest'
  option 'encryption' 'none'
```

- Modificar el fichero */etc/config/network* el cual difiere entre la configuración que se realiza en el Gateway y para la configuración de los enrutadores de malla con lo que se obtiene:

  Configuración de la puerta de enlace

```
#### VLAN configuration
config switch eth0
      option vlan0      "0 1 2 3 5*"
      option vlan1      "4 5"
      option vlan2      "5"
      option vlan3      "5"

#### Loopback configuration
config interface loopback
      option ifname     "lo"
      option proto      static
      option ipaddr     127.0.0.1
      option netmask    255.0.0.0

#### LAN configuration
config interface lan
      option type       bridge
      option ifname     "eth0.0"
      option proto      static
      option ipaddr     192.168.1.1
      option netmask    255.255.255.0


#### WAN configuration
config interface  wan
      option ifname     "eth0.1"
#     option proto      dhcp
      option proto      static
      option 'ipaddr' '200.126.12.119'
      option 'netmask' '255.255.255.0'
      option 'gateway' '200.126.12.1'
      option 'dns' ' 200.9.176.5 192.188.59.2 192.188.59.2'
```

```
config interface wifi
      option proto static
      option ipaddr 10.0.1.1
      option 'netmask' 255.255.255.0
```

Los enrutadores que conforman la red difieren en su configuración en el campo de la interface *WAN* y la interface de *wifi*

Enrutador 2

```
#### WAN configuration
config interface  wan
      option ifname     "eth0.1"
      option proto      dhcp

config interface wifi
      option proto static
      option ipaddr 10.0.1.2
      option gateway 10.0.1.1
      option dns 200.9.176.5
      option 'netmask' 255.255.255.0
```

Enrutador 3

```
#### WAN configuration
config interface  wan
      option ifname     "eth0.1"
      option proto      dhcp

config interface wifi
      option proto static
      option ipaddr 10.0.1.3
      option gateway 10.0.1.1
      option dns 200.9.176.5
      option 'netmask' 255.255.255.0
```

Enrutador 4

```
#### WAN configuration
config interface  wan
      option ifname     "eth0.1"
      option proto      dhcp

config interface wifi
      option proto static
      option ipaddr 10.0.1.4
      option gateway 10.0.1.1
      option dns 200.9.176.5
      option 'netmask' 255.255.255.0
```

- El fichero *Firewall* queda configurado de la siguiente manera:

```
config defaults
      option syn_flood  1
      option input      ACCEPT
      option output           ACCEPT
      option forward          REJECT

config 'zone'
      option 'name' 'wifi'
      option 'input' 'ACCEPT'
      option 'output' 'ACCEPT'
      option 'forward' 'ACCEPT'

config zone
      option name       lan
      option input ACCEPT
      option output     ACCEPT
      option forward    REJECT

config zone
      option name       wan
      option input ACCEPT
      option output     ACCEPT
      option forward    REJECT
      option masq       1
      option mtu_fix    1
```

```
config forwarding
      option src      lan
      option dest     wan

config forwarding
      option src      wifi
      option dest     wan

config rule
      option src         wan
      option proto       udp
      option dest_port   68
      option target      ACCEPT

config rule
      option src         wifi
      option proto       udp
      option dest_port   698
      option target      ACCEPT

config rule
      option src         wifi
      option proto       udp
      option dest_port   1978
      option target      ACCEPT

config include
      option path /etc/firewall.user

# port redirect port coming in on wan to lan
config redirect
      option src         wan
      option src_dport   8477
      option dest        wifi
      option dest_ip           10.0.0.50
      option dest_port   8477
      option proto       tcp
```

- Editar la carpeta que se encuentra en la dirección: */etc/olsrd.conf* donde se observa la línea *Interface* colocar el nombre de la interfaz inalámbrica a usar en nuestro caso *"wl0"* . Obteniendo:

```
DebugLevel 0
IpVersion 4

ClearScreen yes

Interface "wl0"
{
       AutoDetectChanges yes
}

Hna4
{
       10.0.1.0
       255.255.255.0
}

AllowNoInt yes

IpcConnect
{
       MaxConnections 0
       Host 127.0.0.1
}

UseHysteresis yes
HystScaling 0.50
HystThrHigh 0.80
HystThrLow 0.30
LinkQualityLevel 0
Pollrate 0.05
NicChgsPollInt 3.0
```

- Por último para habilitar el protocolo se escribe el comando

```
root@Mesh1 :~# /etc/init.d/olsrd start
```

Los paquetes enviados por la red por medio de este protocolo se los puede observar con el programa Wireshark los mismos que se observan en la Figura 3.8.1

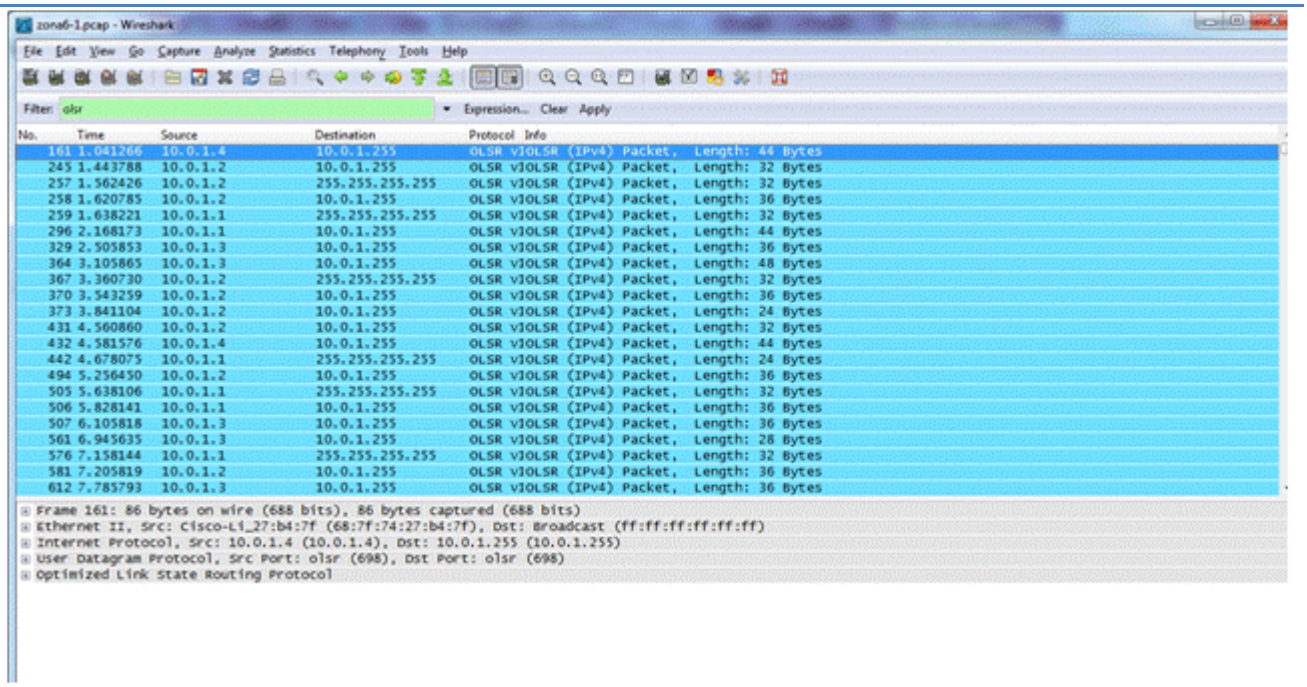


Figura 3.24: Captura de paquetes O.L.S.R. en Wireshark

Las rutas creadas dinámicamente en cada enrutador se observan por medio del comando:

```
root@Mesh1:~# route -n
```

Enrutador 1

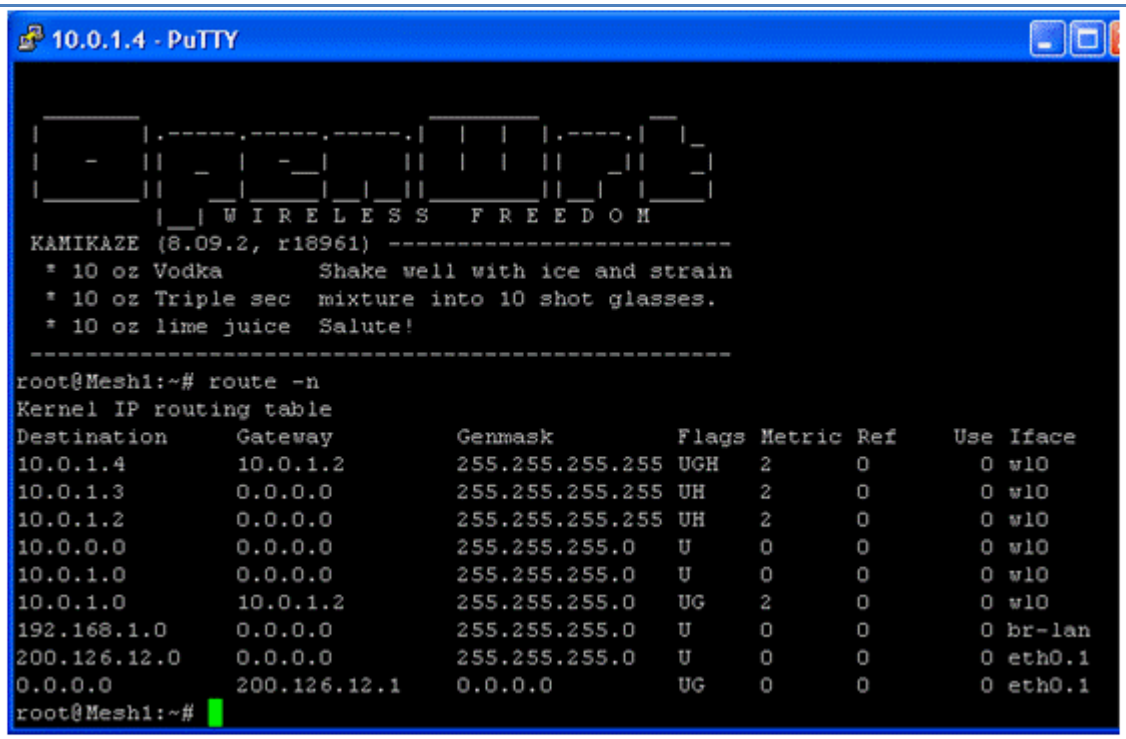


Figura 3.25: Rutas creadas O.L.S.R - Enrutador 1

Enrutador 2

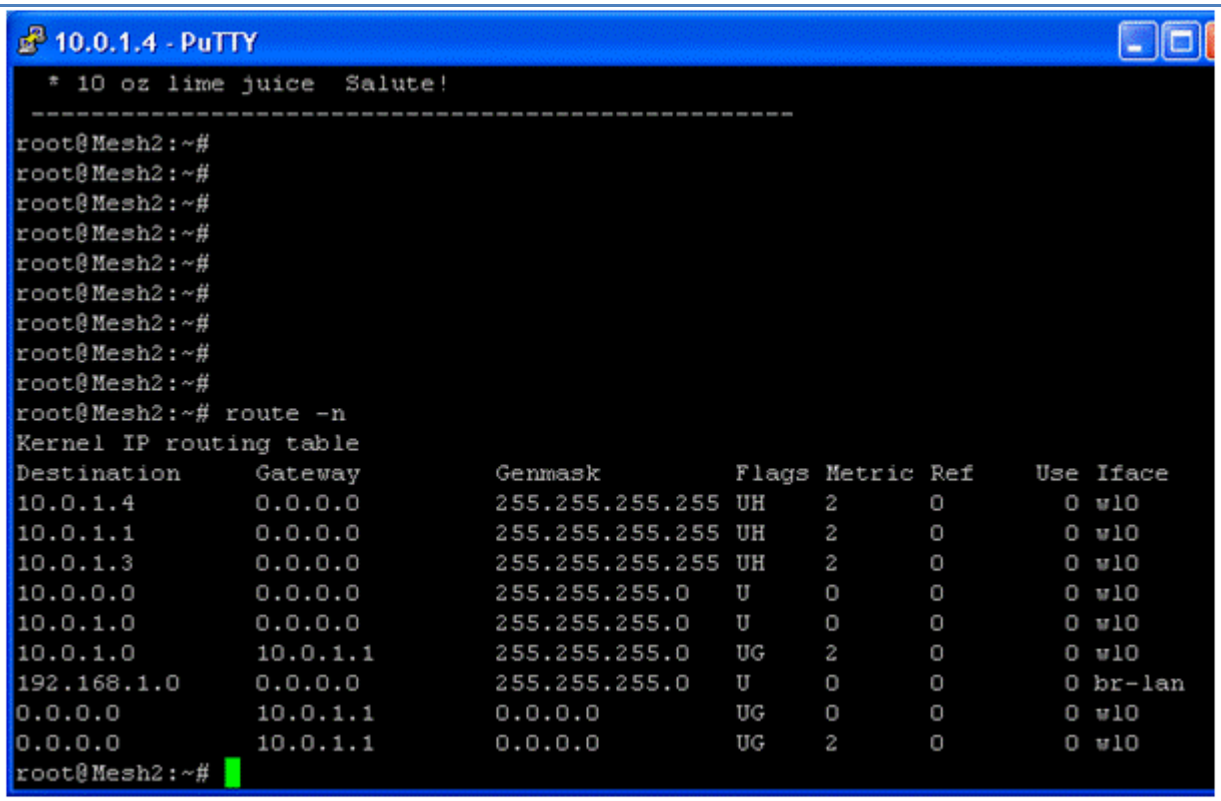


Figura 3.26: Rutas creadas O.L.S.R - Enrutador 2

Enrutador 3

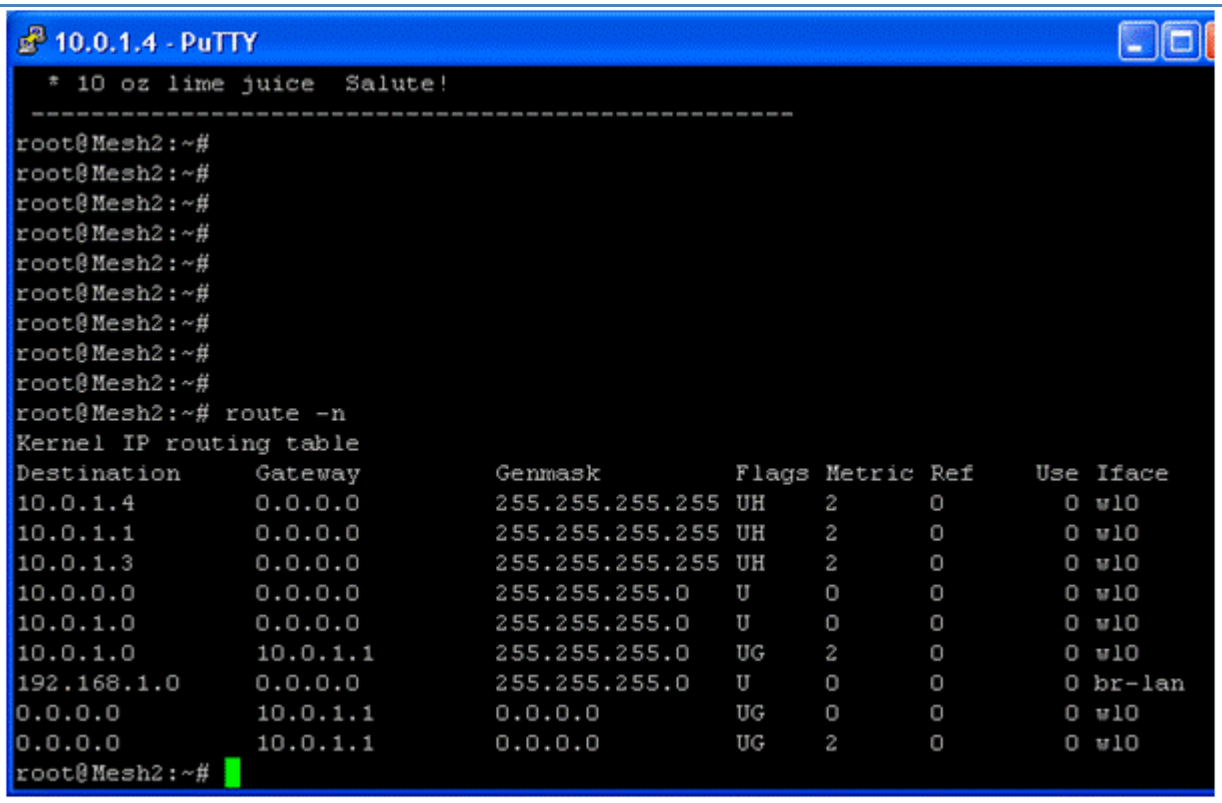


Figura 3.27: Rutas creadas O.L.S.R. - Enrutador 3

Enrutador 4

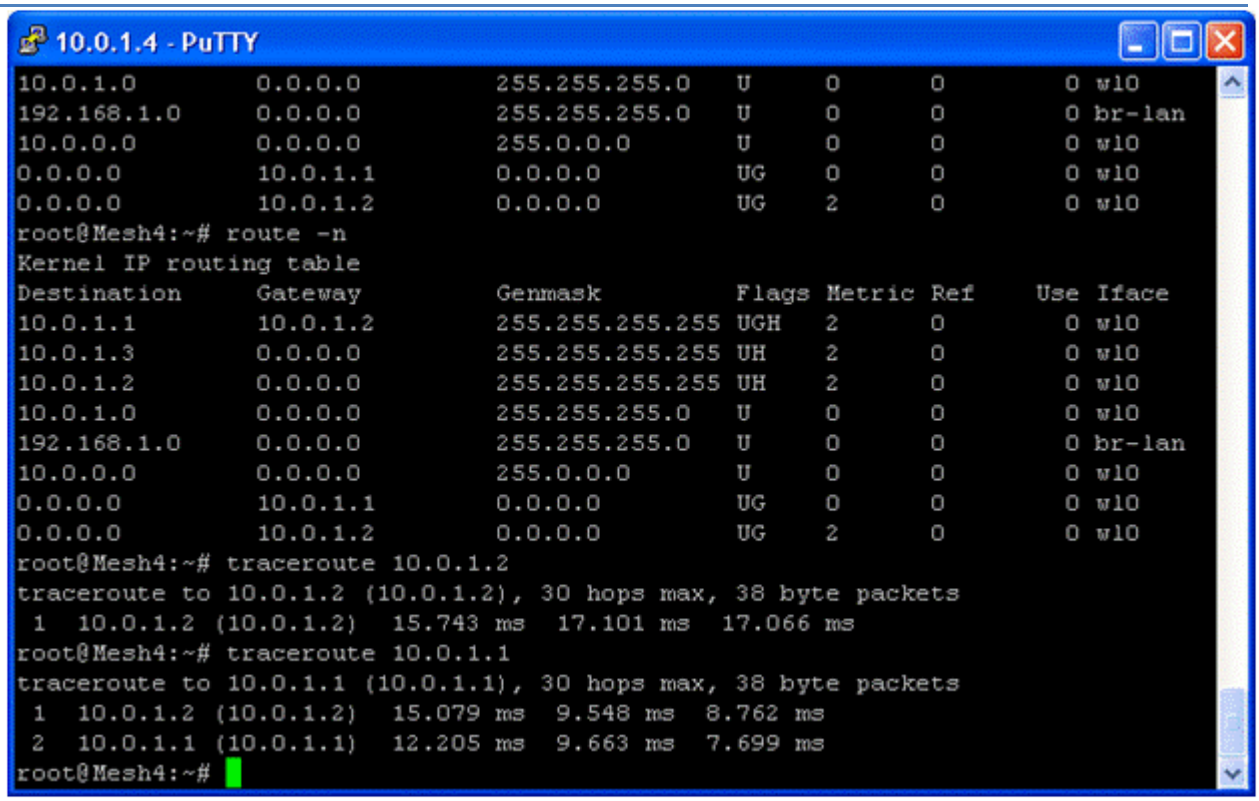


Figura 3.28: Rutas creadas dinámicamente- Enrutador 4

Por medio de la depuración se puede observar el trabajo que realiza el protocolo por medio del Algoritmo de Dijkstra, escogiendo la ruta de menor costo para llegar al destino. A continuación se detalla la depuración realizada al enrutador 4.

```
--- 15:42:49.321294 -----------------------------------------
---- DIJKSTRA

KERN: Adding 10.0.1.3/32 from 10.0.1.3 via 10.0.1.3, cost 0.000,
metric 1, v 20
KERN: ERROR adding 10.0.1.3/32 from 10.0.1.3 via 10.0.1.3, cost
0.000, metric 1, v 20: File exists
KERN: Adding 10.0.1.1/32 from 10.0.1.1 via 10.0.1.3, cost 0.000,
metric 2, v 20

--- 15:42:49.327746 -----------------------------------------
------- LINKS

IP address       hyst         LQ       ETX
10.0.1.1         0.749  0.000/0.000    INFINITE
10.0.1.2         1.000  0.000/0.000    INFINITE
10.0.1.3         1.000  0.000/0.000    INFINITE

--- 15:42:49.332608 ---------------------- TWO-HOP NEIGHBORS

IP addr (2-hop)  IP addr (1-hop)  Total cost
10.0.1.2         10.0.1.1         INFINITE
                 10.0.1.3         INFINITE
10.0.1.1         10.0.1.2         INFINITE
                 10.0.1.3         INFINITE
10.0.1.3         10.0.1.1         INFINITE
                 10.0.1.2         INFINITE

--- 15:42:49.334709 -----------------------------------------
---- TOPOLOGY

Source IP addr  Dest IP addr          LQ        ETX
10.0.1.1        10.0.1.3        0.039/0.000    0.000
10.0.1.2        10.0.1.1        0.039/0.000    0.000
10.0.1.2        10.0.1.3        0.039/0.000    0.000
10.0.1.3        10.0.1.1        0.039/0.000    0.000
10.0.1.3        10.0.1.2        0.008/0.906    0.000
10.0.1.3        10.0.1.4        0.039/0.000    0.000
10.0.1.4        10.0.1.1        0.000/0.000    0.000
10.0.1.4        10.0.1.2        0.000/0.000    0.000
10.0.1.4        10.0.1.3        0.000/0.000    0.000
HYST[10.0.1.1] HELLO timeout 0.374267
|
```

```
       *** olsr.org - 0.5.6-r3 (2009-12-06 03:47:50 on arrakis)
***

--- 15:42:50.460738 ------------------------------------------
---- DIJKSTRA

KERN: Deleting 10.0.1.2/32 via 10.0.1.3
KERN: Adding 10.0.1.3/32 from 10.0.1.3 via 10.0.1.3, cost 0.000,
metric 1, v 21
KERN: ERROR adding 10.0.1.3/32 from 10.0.1.3 via 10.0.1.3, cost
0.000, metric 1, v 21: File exists

--- 15:42:50.466632 ------------------------------------------
------- LINKS

IP address       hyst         LQ       ETX
10.0.1.1         0.374  0.000/0.000    INFINITE
10.0.1.2         1.000  0.000/0.000    INFINITE
10.0.1.3         1.000  0.000/0.000    INFINITE

--- 15:42:50.471750 ---------------------- TWO-HOP NEIGHBORS

IP addr (2-hop)  IP addr (1-hop)  Total cost
10.0.1.2         10.0.1.1         INFINITE
                 10.0.1.3         INFINITE
10.0.1.1         10.0.1.2         INFINITE
                 10.0.1.3         INFINITE
10.0.1.3         10.0.1.1         INFINITE
                 10.0.1.2         INFINITE

--- 15:42:50.473891 ------------------------------------------
---- TOPOLOGY

Source IP addr  Dest IP addr          LQ        ETX
10.0.1.1        10.0.1.3        0.039/0.000    0.000
10.0.1.3        10.0.1.1        0.039/0.000    0.000
10.0.1.3        10.0.1.2        0.008/0.906    0.000
10.0.1.3        10.0.1.4        0.039/0.000    0.000
10.0.1.4        10.0.1.1        0.000/0.000    0.000
10.0.1.4        10.0.1.2        0.000/0.000    0.000
10.0.1.4        10.0.1.3        0.000/0.000    0.000
/
       *** olsr.org - 0.5.6-r3 (2009-12-06 03:47:50 on arrakis)
***
Setting 10.0.1.3 as MPR
```

```
--- 15:42:50.781327 ------------------------------------------
------- LINKS

IP address       hyst         LQ       ETX
10.0.1.1         0.687  0.000/0.000    INFINITE
10.0.1.2         1.000  0.000/0.000    INFINITE
10.0.1.3         1.000  0.000/0.000    INFINITE

--- 15:42:50.785872 ---------------------- TWO-HOP NEIGHBORS

IP addr (2-hop)  IP addr (1-hop)  Total cost
10.0.1.2         10.0.1.3         INFINITE
10.0.1.1         10.0.1.2         INFINITE
                 10.0.1.3         INFINITE
10.0.1.3         10.0.1.1         INFINITE
                 10.0.1.2         INFINITE

--- 15:42:50.787763 ------------------------------------------
---- TOPOLOGY

Source IP addr  Dest IP addr          LQ        ETX
10.0.1.1        10.0.1.3        0.039/0.000    0.000
10.0.1.3        10.0.1.1        0.039/0.000    0.000
10.0.1.3        10.0.1.2        0.008/0.906    0.000
10.0.1.3        10.0.1.4        0.039/0.000    0.000
10.0.1.4        10.0.1.1        0.000/0.000    0.000
10.0.1.4        10.0.1.2        0.000/0.000    0.000
10.0.1.4        10.0.1.3        0.000/0.000    0.000
       *** olsr.org - 0.5.6-r3 (2009-12-06 03:47:50 on arrakis)
***
Setting 10.0.1.3 as MPR
```

CAPITULO 4

4. PRUEBAS DE CALIDAD DE SERVICIO

4.1. Pruebas Empleando B.A.T.M.A.N. como Protocolo De Enrutamiento Inalámbrico Mesh

En esta sección se detallan las pruebas llevadas a cabo en la red inalámbrica mallada empleando el protocolo de enrutamiento B.A.T.M.A.N.

4.1.1. Pérdida De Paquetes, Jitter, Ancho De Banda, Retardo

Se realizaron las pruebas en cada zona, usando el protocolo de enrutamiento B.A.T.M.A.N, realizando llamadas telefónicas y capturando los paquetes que viajaban en la red usando la herramienta de captura de paquetes Wireshark. Los detalles se muestran a continuación:

Zona 1:

a) Enrutador 1:

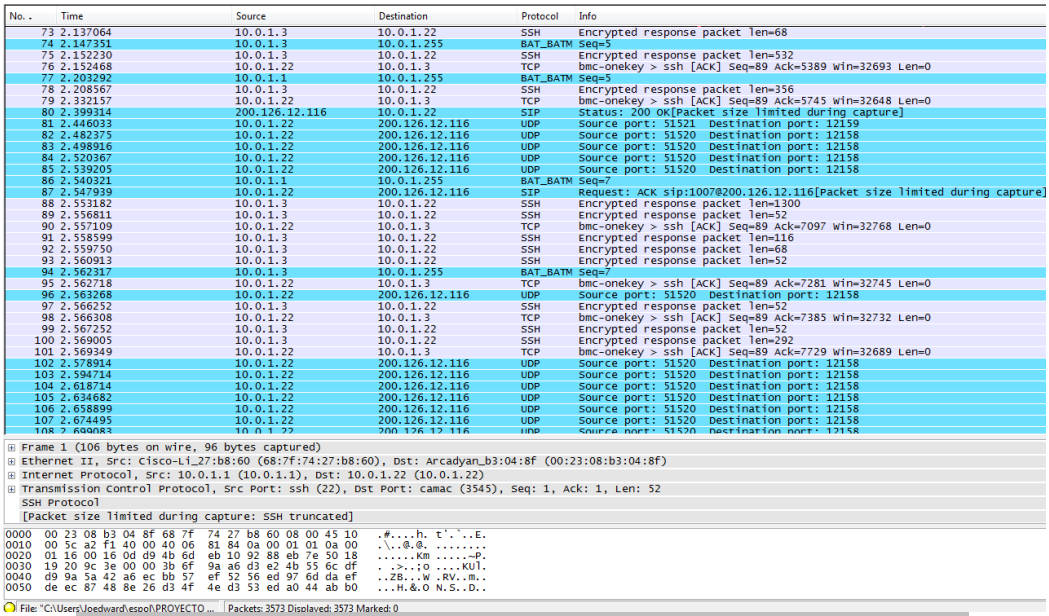


Figura 4.1: Captura de paquetes del enrutador 1 en Zona 1 (BATMAN)

b) Enrutador 2:

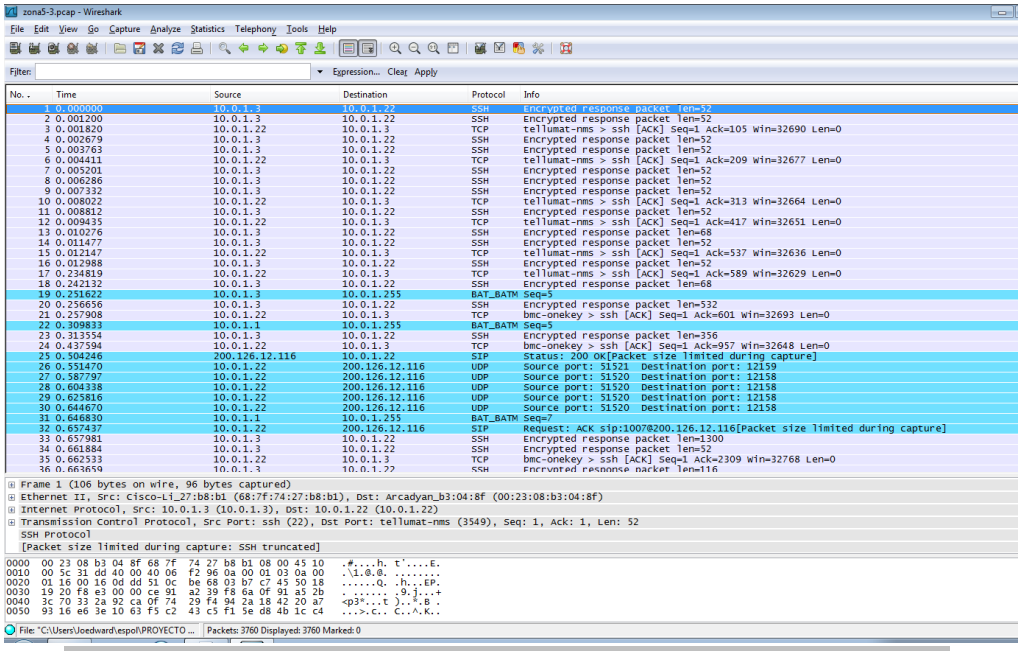


Figura 4.2: Captura de paquetes del enrutador 2 en Zona 1 (BATMAN)

c) Cliente softphone:

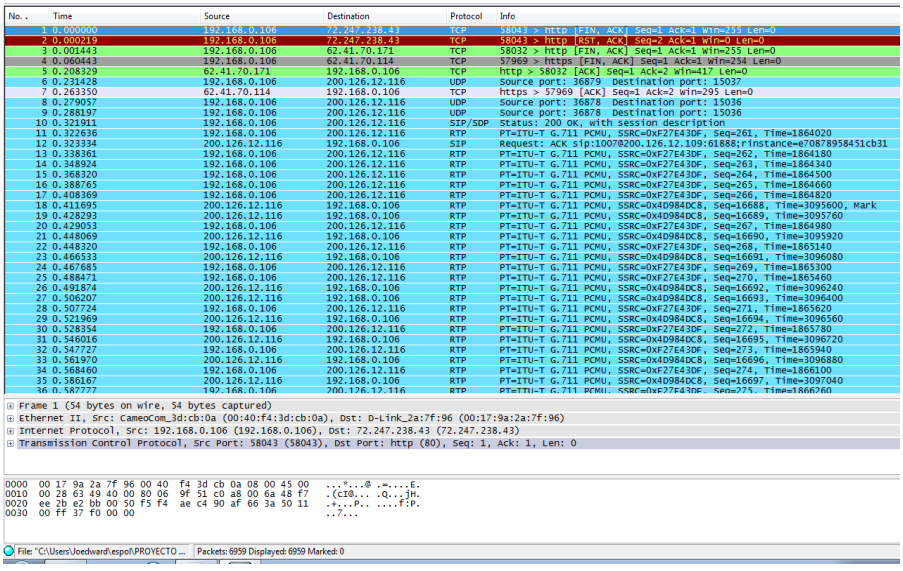


Figura 4.3: Captura de paquetes del enrutador 2 en Zona 1-cliente Softphone (BATMAN)

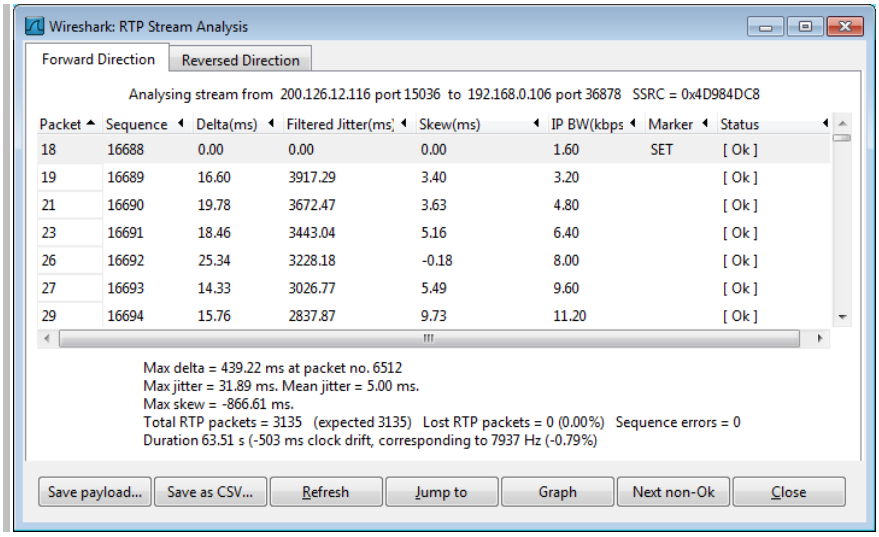


Figura 4.4: Steam RTP en el cliente en la dirección de avance en Zona 1 (BATMAN)

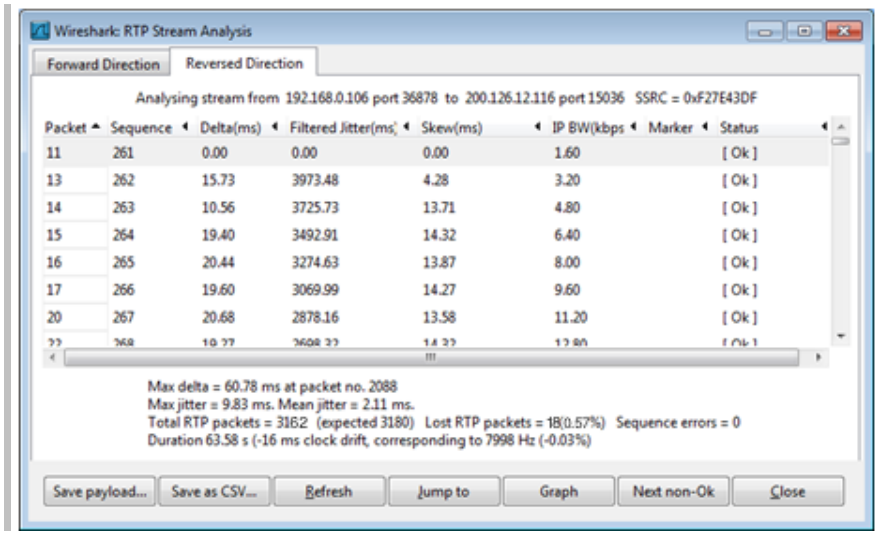


Figura 4.5: Steam RTP en el cliente en la dirección de reversa en Zona 1 (BATMAN)

Zona 2:

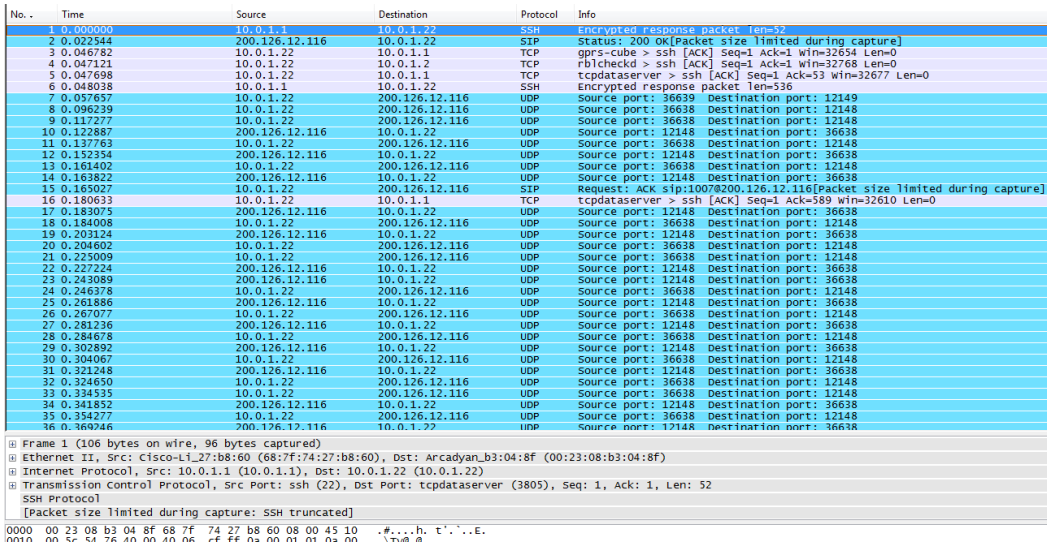


Figura 4.6: Captura de paquetes del enrutador 1 en Zona 2 (BATMAN)

b) Enrutador 2:

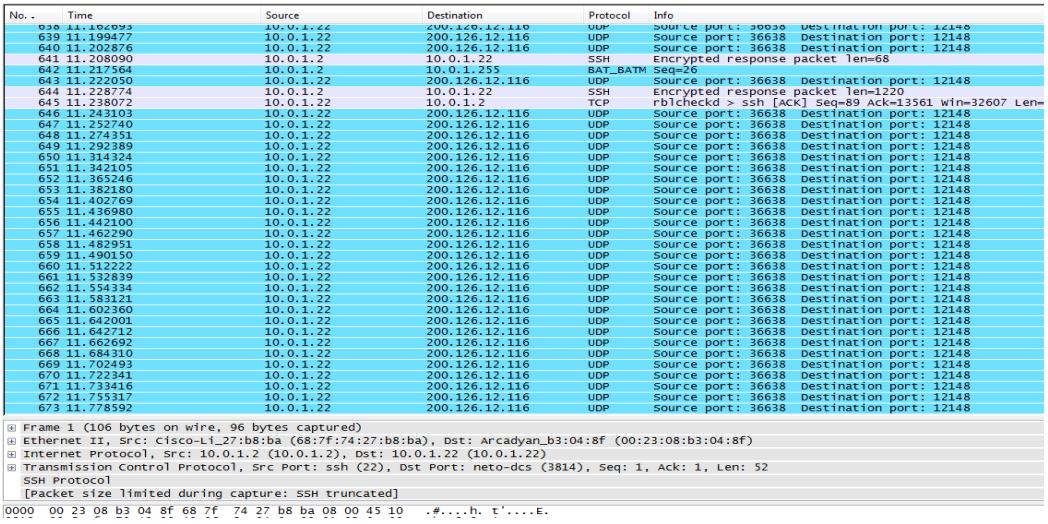


Figura 4.7: Captura de paquetes del enrutador 2 en Zona 2 (BATMAN)

c) Enrutador 3:

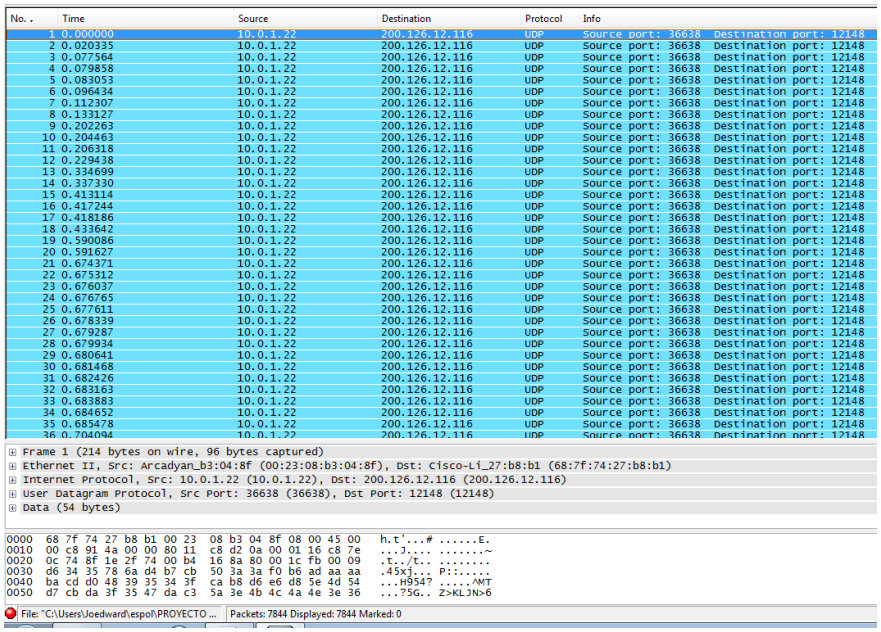


Figura 4.8: Captura de paquetes del enrutador 3 en Zona 2 (BATMAN)

d) Cliente softphone:

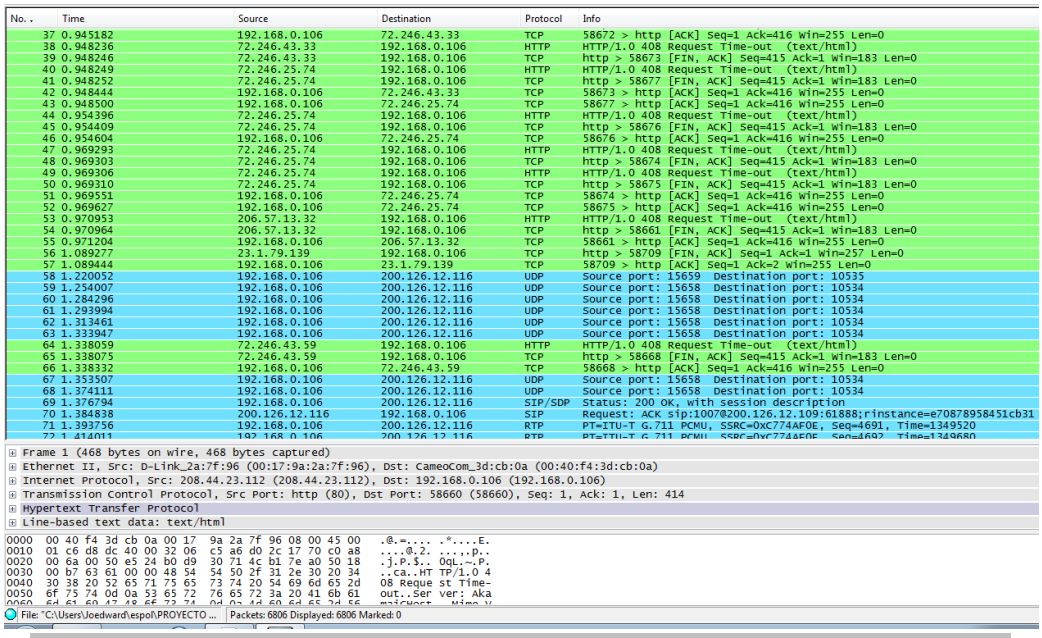


Figura 4.9: Captura de paquetes del cliente en Zona 2 (BATMAN)

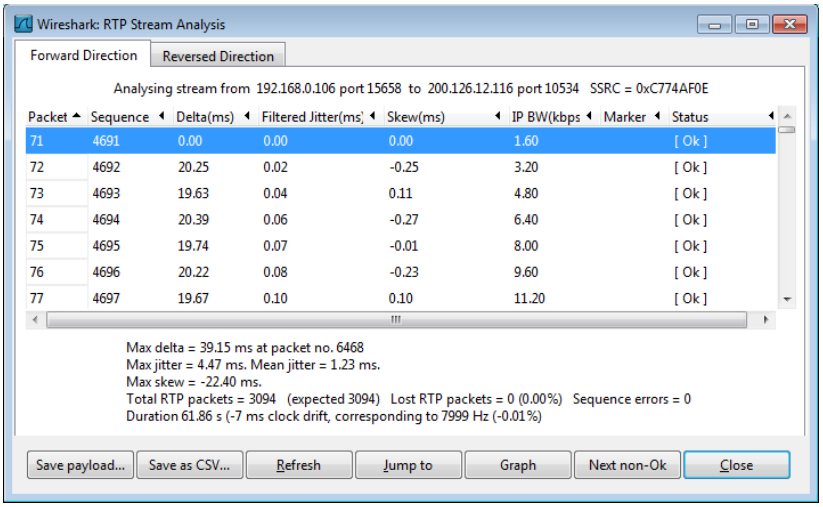


Figura 4.10: Steam RTP en el cliente en la dirección de avance en Zona 2 (BATMAN)

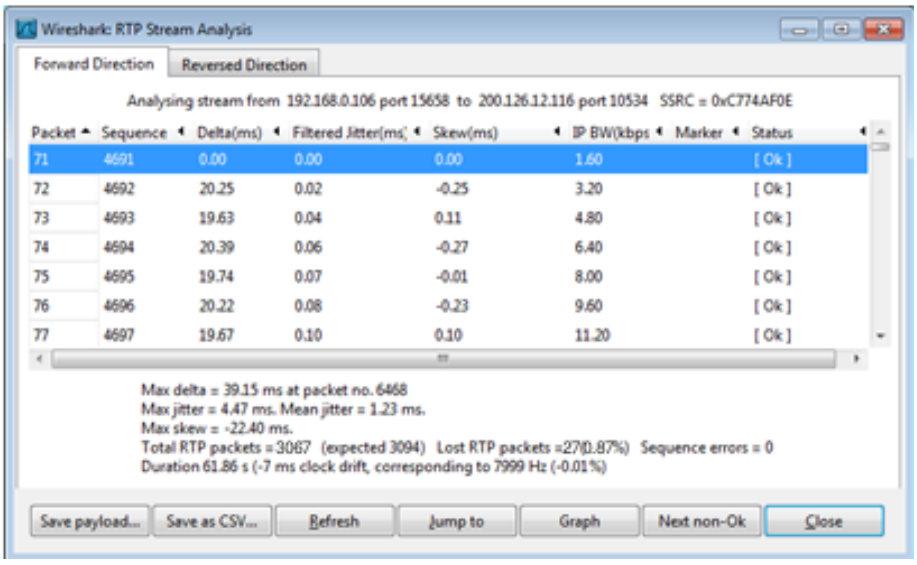


Figura 4.11: Steam RTP en el cliente en la dirección de avance

Zona 3:

a) Enrutador 1:

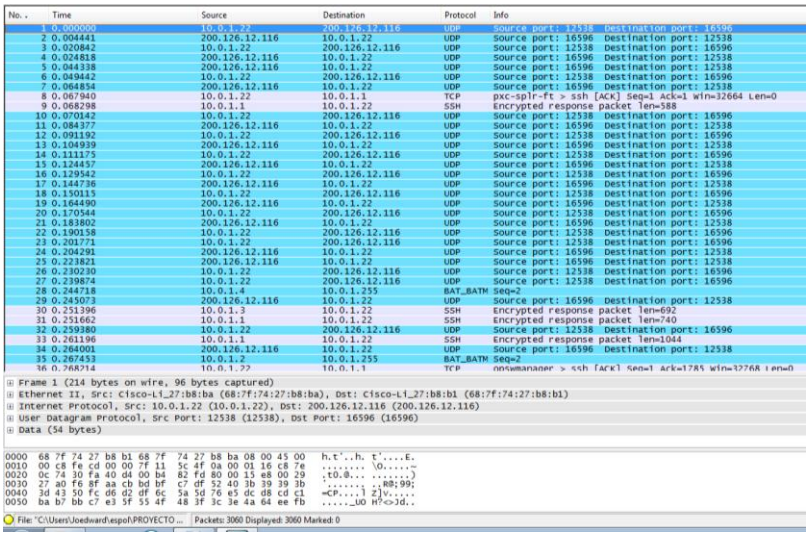


Figura 4.12: Captura de paquetes del enrutador 1 en Zona 3 (BATMAN)

b) Enrutador 2:

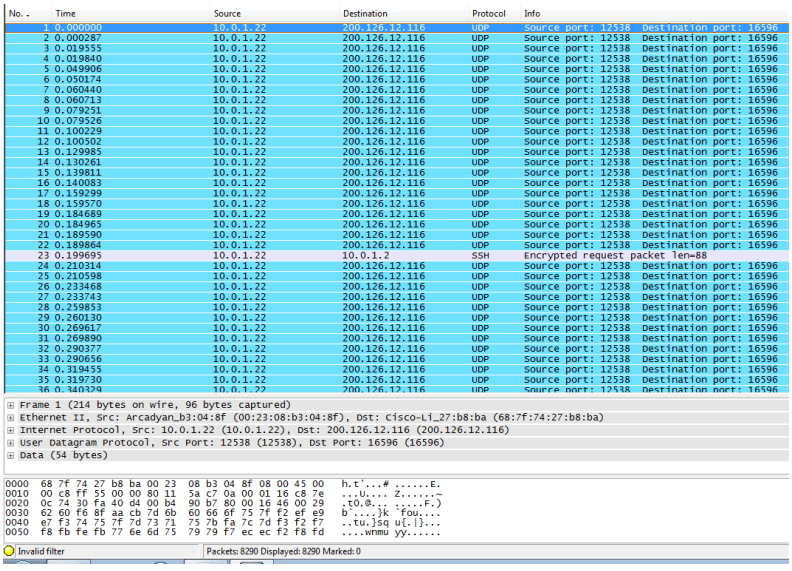
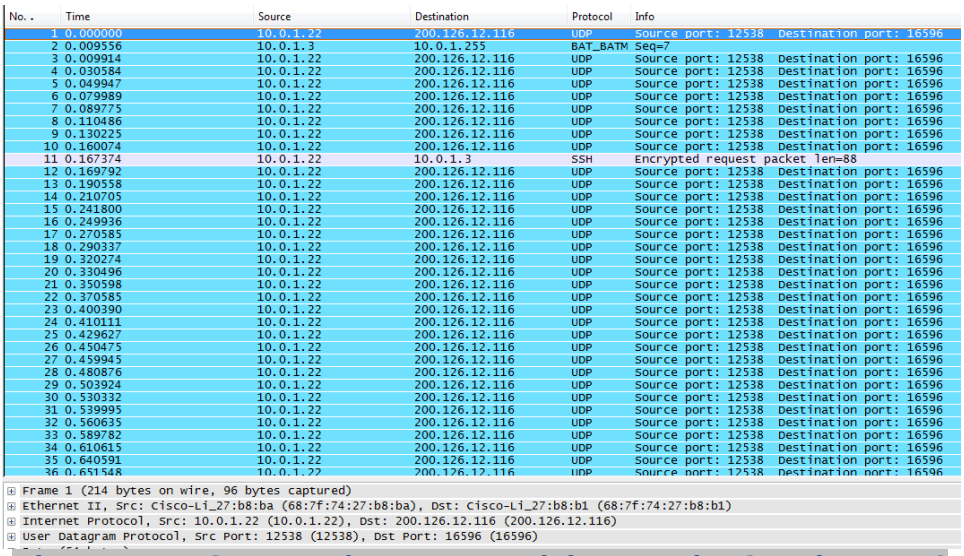


Figura 4.13: Captura de paquetes del enrutador 2 en la zona 3 (BATMAN))

c) Enrutador 3:

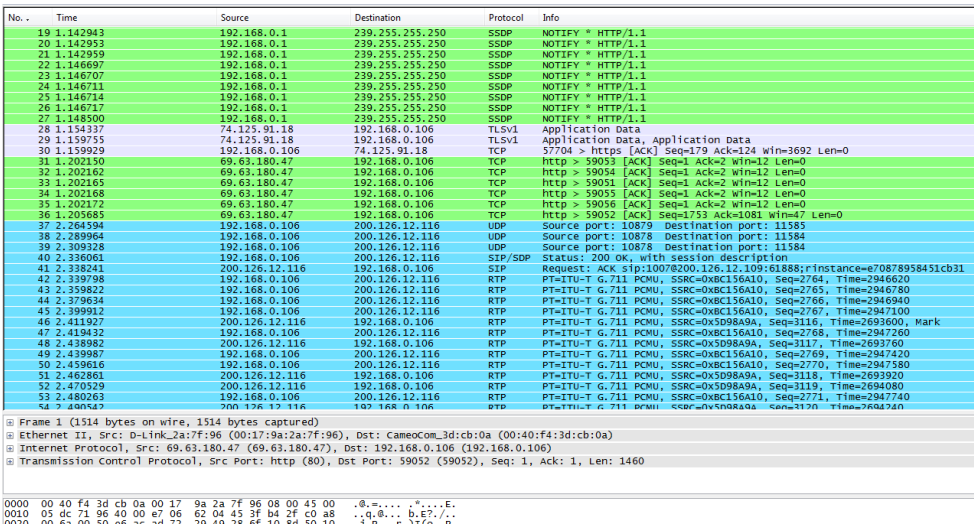


No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
2	0.009556	10.0.1.3	10.0.1.255	BAT_BATM	Seq=7
3	0.009914	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
4	0.030584	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
5	0.049947	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
6	0.079989	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
7	0.089775	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
8	0.110486	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
9	0.130225	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
10	0.160074	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
11	0.167374	10.0.1.22	10.0.1.3	SSH	Encrypted request packet len=88
12	0.169792	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
13	0.190558	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
14	0.210705	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
15	0.241800	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
16	0.249936	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
17	0.270585	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
18	0.290337	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
19	0.320274	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
20	0.330496	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
21	0.350598	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
22	0.370585	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
23	0.400390	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
24	0.410111	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
25	0.429627	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
26	0.450475	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
27	0.459945	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
28	0.480876	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
29	0.503924	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
30	0.530332	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
31	0.539995	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
32	0.560635	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
33	0.589782	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
34	0.610615	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
35	0.640591	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596
36	0.651548	10.0.1.22	200.126.12.116	UDP	Source port: 12538 Destination port: 16596

```
⊞ Frame 1 (214 bytes on wire, 96 bytes captured)
⊞ Ethernet II, Src: Cisco-Li_27:b8:ba (68:7f:74:27:b8:ba), Dst: Cisco-Li_27:b8:b1 (68:7f:74:27:b8:b1)
⊞ Internet Protocol, Src: 10.0.1.22 (10.0.1.22), Dst: 200.126.12.116 (200.126.12.116)
⊞ User Datagram Protocol, Src Port: 12538 (12538), Dst Port: 16596 (16596)
```

Figura 4.14: Captura de paquetes del enrutador 3 en la zona 3 (BATMAN)

e) Cliente softphone:



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
19	1.142943	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	NOTIFY * HTTP/1.1
20	1.142953	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	NOTIFY * HTTP/1.1
21	1.142959	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	NOTIFY * HTTP/1.1
22	1.146697	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	NOTIFY * HTTP/1.1
23	1.146707	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	NOTIFY * HTTP/1.1
24	1.146711	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	NOTIFY * HTTP/1.1
25	1.146714	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	NOTIFY * HTTP/1.1
26	1.146717	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	NOTIFY * HTTP/1.1
27	1.148500	192.168.0.1	239.255.255.250	SSDP	NOTIFY * HTTP/1.1
28	1.154337	74.125.91.18	192.168.0.106	TLSv1	Application Data
29	1.159755	74.125.91.18	192.168.0.106	TLSv1	Application Data, Application Data
30	1.159929	192.168.0.106	74.125.91.18	TCP	57704 > https [ACK] Seq=179 Ack=124 Win=3692 Len=0
31	1.202150	69.63.180.47	192.168.0.106	TCP	http > 59053 [ACK] Seq=1 Ack=2 Win=12 Len=0
32	1.202162	69.63.180.47	192.168.0.106	TCP	http > 59054 [ACK] Seq=1 Ack=2 Win=12 Len=0
33	1.202165	69.63.180.47	192.168.0.106	TCP	http > 59051 [ACK] Seq=1 Ack=2 Win=12 Len=0
34	1.202168	69.63.180.47	192.168.0.106	TCP	http > 59055 [ACK] Seq=1 Ack=2 Win=12 Len=0
35	1.202172	69.63.180.47	192.168.0.106	TCP	http > 59056 [ACK] Seq=1 Ack=2 Win=12 Len=0
36	1.205685	69.63.180.47	192.168.0.106	TCP	http > 59052 [ACK] Seq=1753 Ack=1081 Win=47 Len=0
37	2.264594	192.168.0.106	200.126.12.116	UDP	Source port: 10879 Destination port: 11585
38	2.289964	192.168.0.106	200.126.12.116	UDP	Source port: 10878 Destination port: 11584
39	2.309328	192.168.0.106	200.126.12.116	UDP	Source port: 10878 Destination port: 11584
40	2.336061	192.168.0.106	200.126.12.116	SIP/SDP	Status: 200 OK, with session description
41	2.338241	200.126.12.116	192.168.0.106	SIP	Request: ACK sip:10078200.126.12.109:61888;rinstance=e70878958451cb31
42	2.339798	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0xBC156A10, Seq=2764, Time=2946620
43	2.359822	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0xBC156A10, Seq=2765, Time=2946780
44	2.379634	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0xBC156A10, Seq=2766, Time=2946940
45	2.399912	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0xBC156A10, Seq=2767, Time=2947100
46	2.411927	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x5D98A9A, Seq=3116, Time=2693600, Mark
47	2.419432	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0xBC156A10, Seq=2768, Time=2947260
48	2.438982	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x5D98A9A, Seq=3117, Time=2693760
49	2.439987	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0xBC156A10, Seq=2769, Time=2947420
50	2.459616	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0xBC156A10, Seq=2770, Time=2947580
51	2.462861	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x5D98A9A, Seq=3118, Time=2693920
52	2.470529	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x5D98A9A, Seq=3119, Time=2694080
53	2.480263	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0xBC156A10, Seq=2771, Time=2947740

```
⊞ Frame 1 (1514 bytes on wire, 1514 bytes captured)
⊞ Ethernet II, Src: D-Link_2a:7f:96 (00:17:9a:2a:7f:96), Dst: CameoCom_3d:cb:0a (00:40:f4:3d:cb:0a)
⊞ Internet Protocol, Src: 69.63.180.47 (69.63.180.47), Dst: 192.168.0.106 (192.168.0.106)
⊞ Transmission Control Protocol, Src Port: http (80), Dst Port: 59052 (59052), Seq: 1, Ack: 1, Len: 1460

0000  00 40 f4 3d cb 0a 00 17  9a 2a 7f 96 08 00 45 00   .@.=.... .*....E.
0010  05 dc 71 96 40 00 e7 06  62 04 45 3f b4 2f c0 a8   ..q.@... b.E?./..
```

Figura 4.15: Captura de paquetes del cliente en Zona 3 (BATMAN)

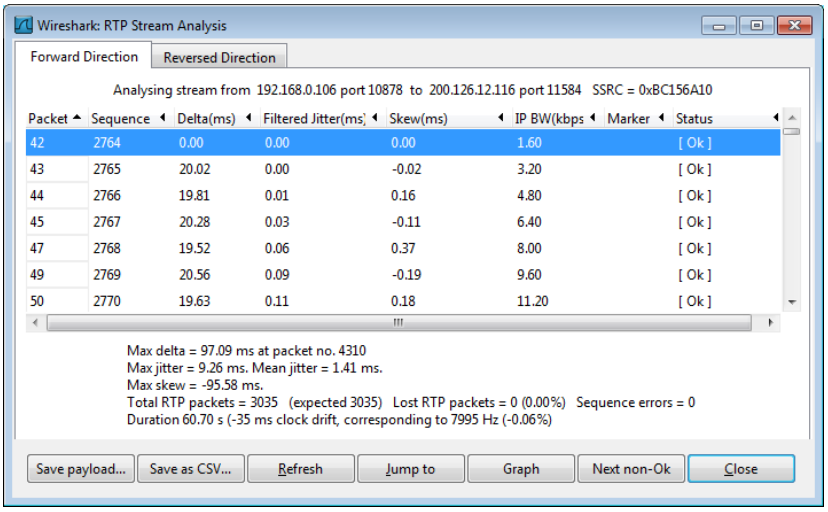


Figura 4.16: Steam RTP en el cliente en la dirección de avance en la Zona 3 (BATMAN)

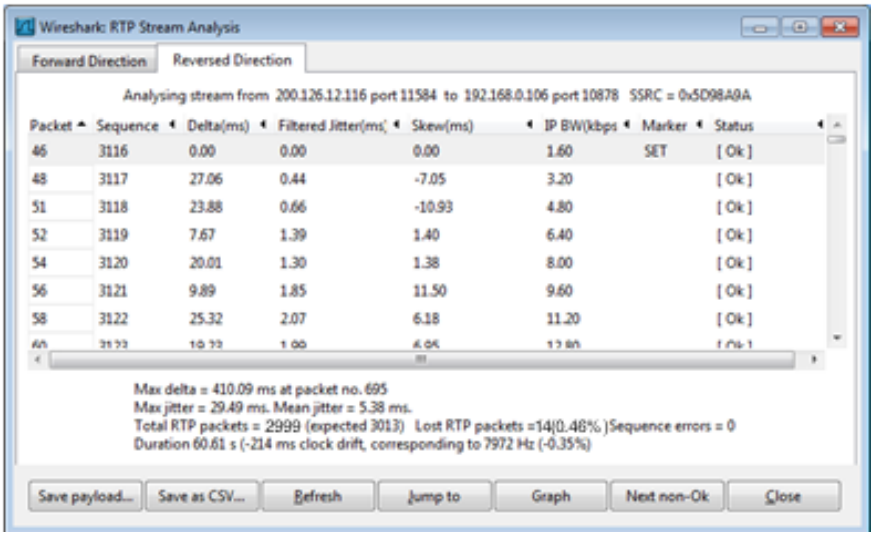


Figura 4.17: Steam RTP en el cliente en la dirección de reversa en la Zona 3 (BATMAN)

Zona 4:

a) Enrutador 1:

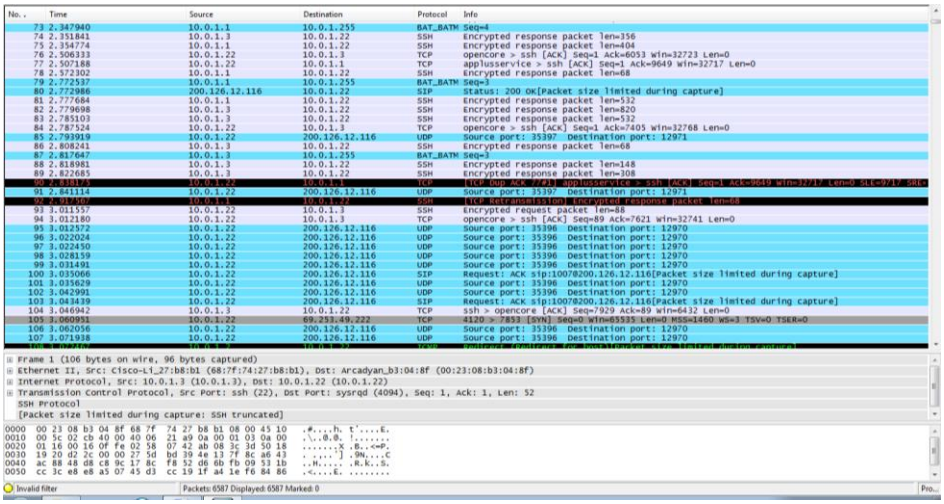


Figura 4.18: Captura de paquetes del enrutador 1 en la zona 4 (BATMAN)

b) Cliente softphone:

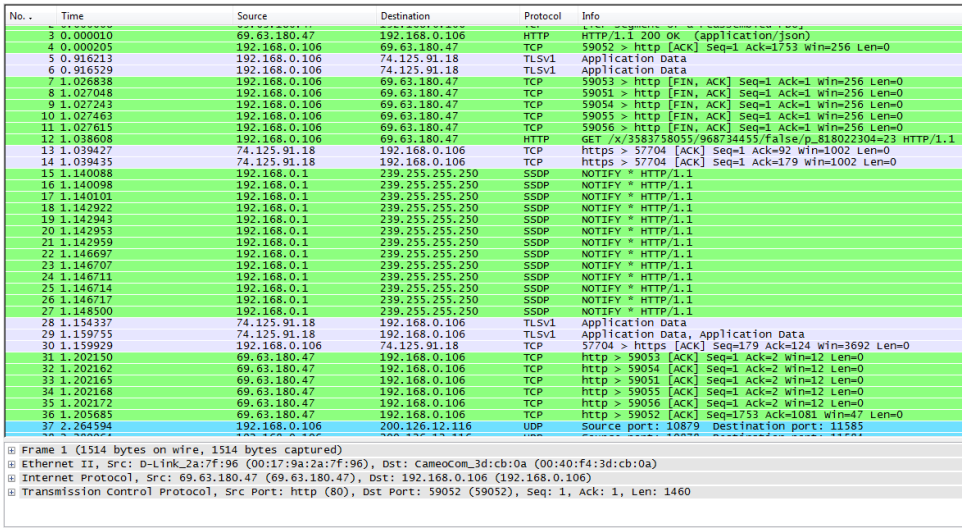


Figura 4.19: Captura de paquetes del cliente en Zona 4 (BATMAN)

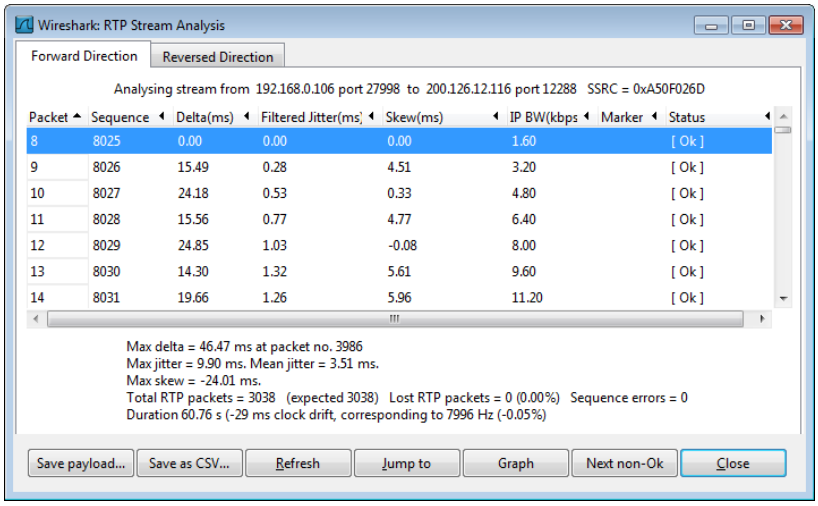


Figura 4.20: Steam RTP en el cliente en la dirección de avance en la Zona 4 (BATMAN)

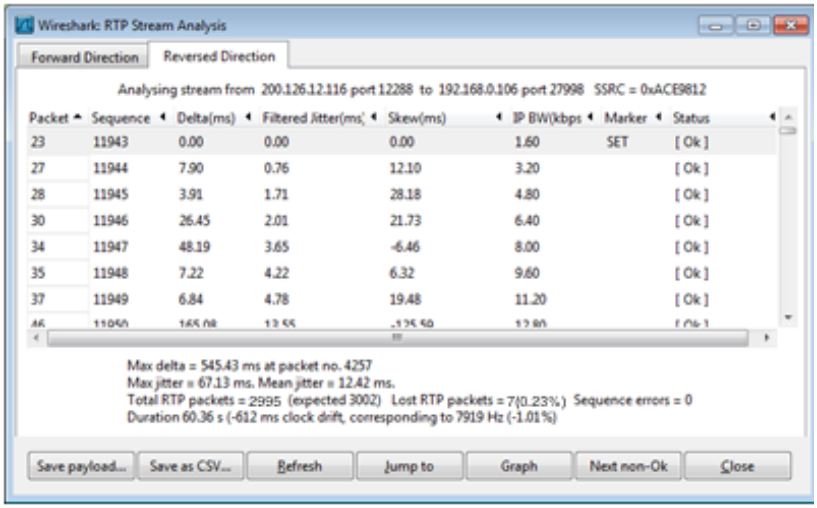


Figura 4.21: Steam RTP en el cliente en la dirección de reversa en la Zona 4 (BATMAN)

4.2. Pruebas Empleando Roofnet como Protocolo De Enrutamiento Inalámbrico Mesh

En esta sección se detallan las pruebas llevadas a cabo en la red inalámbrica mallada empleando el protocolo de enrutamiento de Roofnet.

4.2.1. Pérdida de Paquetes, Jitter, Ancho De Banda, Retardo

Se realizaron las pruebas en cada zona, usando el protocolo de enrutamiento de ROOFNET, realizando llamadas telefónicas y capturando los paquetes que viajaban en la red usando la herramienta de captura de paquetes Wireshark. Los detalles se muestran a continuación:

Zona 1:

a) Cliente softphone en PC de escritorio:

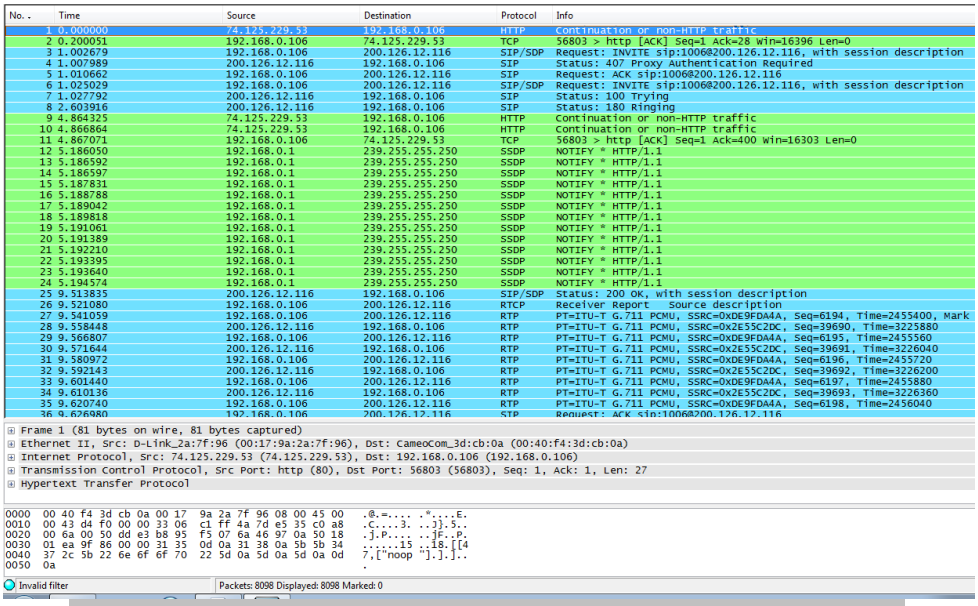


Figura 4.22: Captura de paquetes del cliente en Zona 1 (Roofnet)

b) Cliente softphone en laptop:

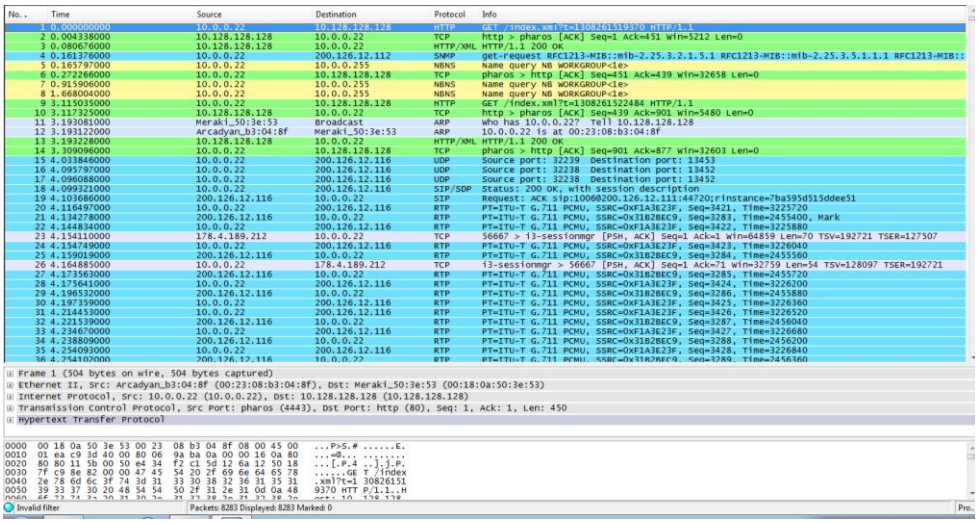


Figura 4.23: Captura de paquetes del cliente 2 en Zona 1 (Roofnet)

Zona 2:

a) Cliente softphone en PC de escritorio:

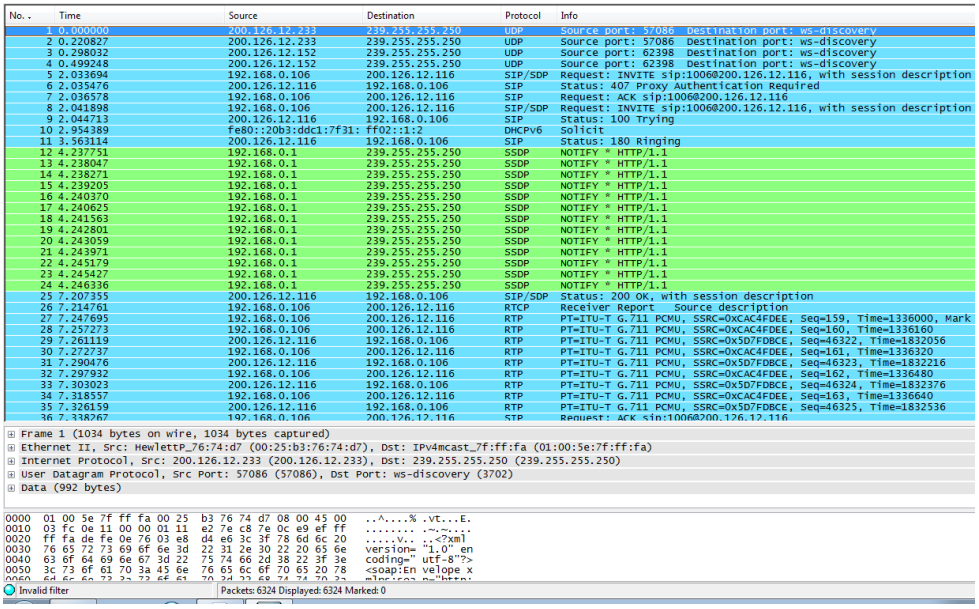


Figura 4.24: Captura de paquetes del cliente 1 en Zona 2 (Roofnet)

b) Cliente softphone en laptop:

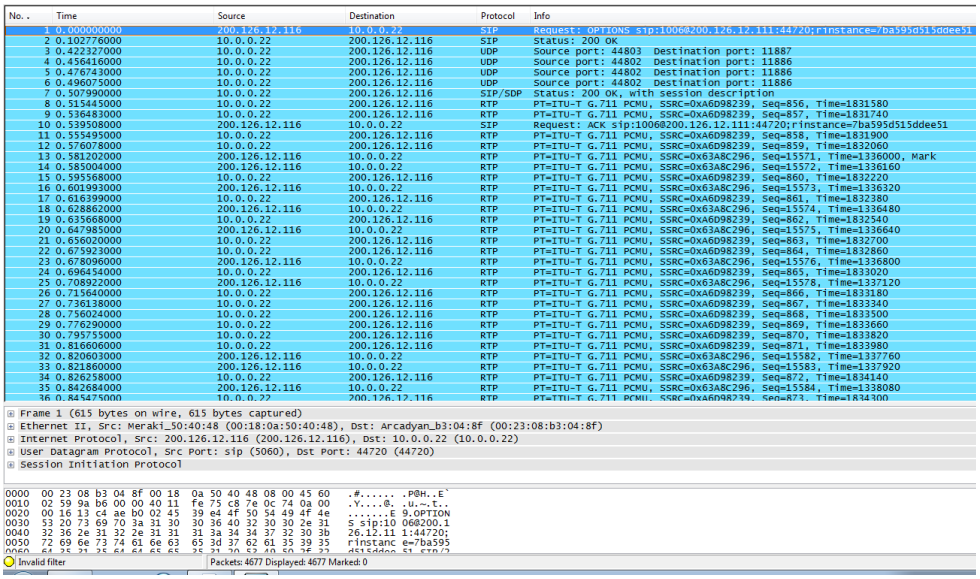


Figura 4.25: Captura de paquetes del cliente 2 en Zona 2 (Roofnet)

Zona 3:

a) Cliente softphone en PC de escritorio:

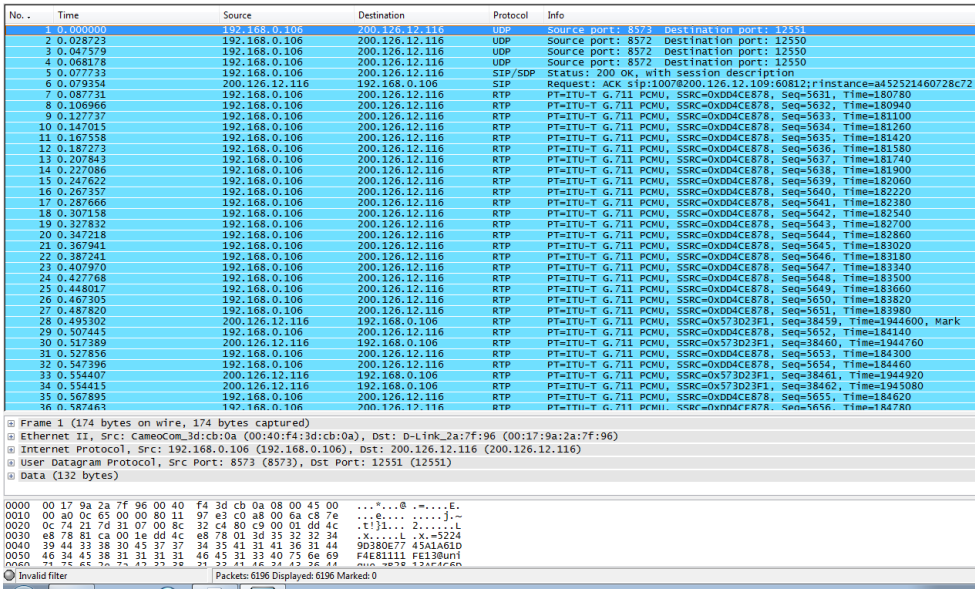


Figura 4.26: Captura de paquetes del cliente 1 en Zona 3 (Roofnet)

b) Cliente softphone en laptop:

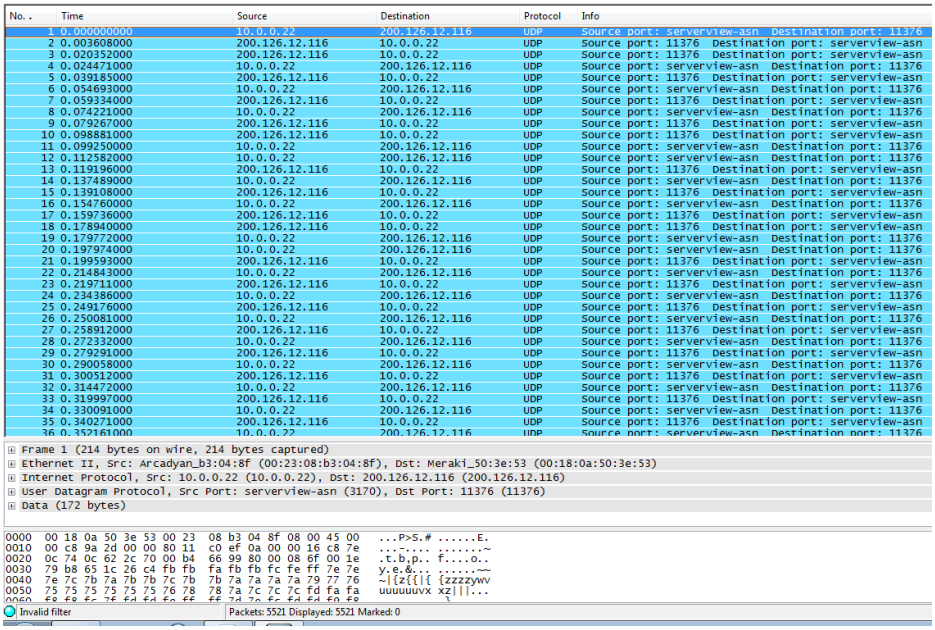


Figura 4.27: Captura de paquetes del cliente 2 en Zona 3 (Roofnet)

Zona 4:

a) Cliente softphone en PC de escritorio:

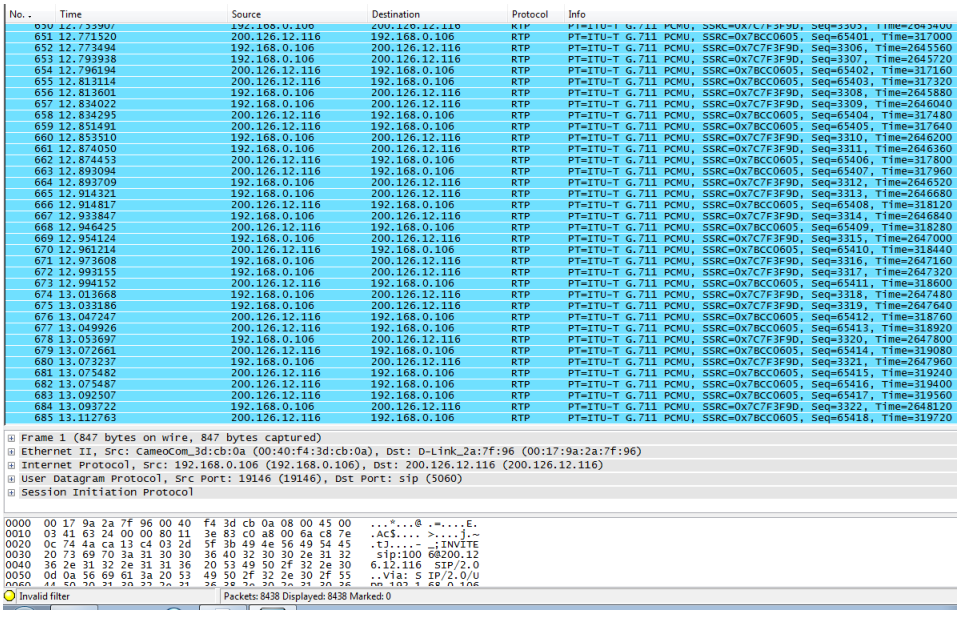


Figura 4.28: Captura de paquetes del cliente 1 en Zona 4 (Roofnet)

b) Cliente softphone en laptop:

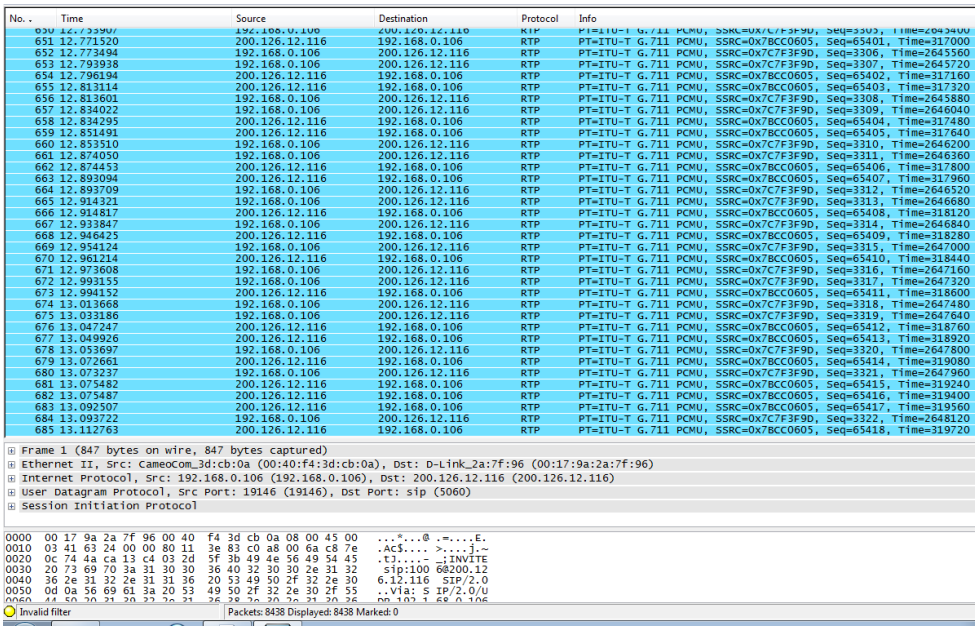


Figura 4.29: Captura de paquetes del cliente 2 en Zona 4 (Roofnet)

4.3. Pruebas Empleando Wing como Protocolo De Enrutamiento Inalámbrico Mesh

En esta sección se detallan las pruebas llevadas a cabo en la red inalámbrica mallada empleando el protocolo de enrutamiento W.I.N.G.

4.3.1. Pérdida de Paquetes, Jitter, Ancho De Banda, Retardo

Se realizaron las pruebas en cada zona, usando el protocolo de enrutamiento WING, realizando llamadas telefónicas y capturando los paquetes que viajaban en la red usando la herramienta de

captura de paquetes Wireshark. Los detalles se muestran a continuación:

Zona 1:

a) Enrutador 1:

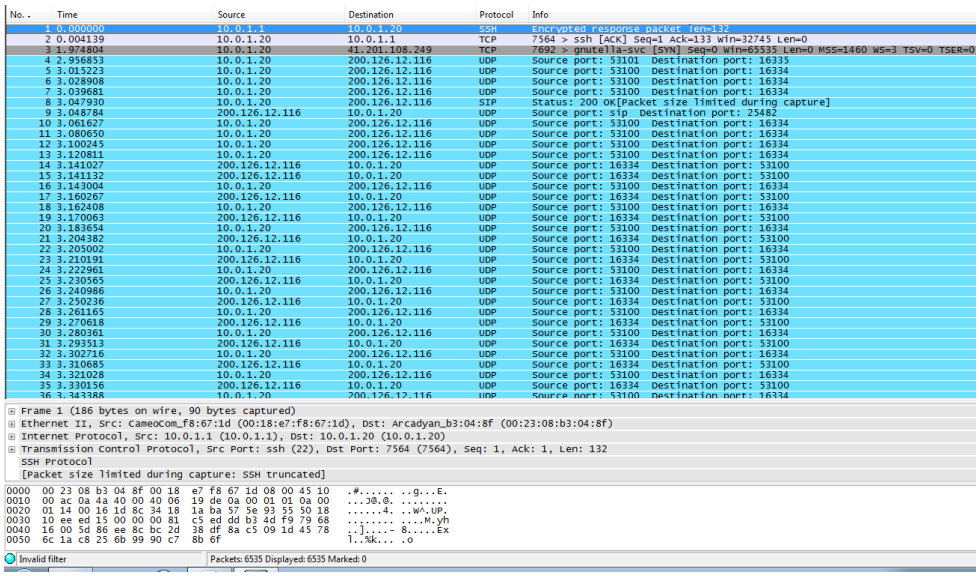


Figura 4.30: Captura de paquetes del enrutador 1 en Zona 1(Wing)

b) Enrutador 2:

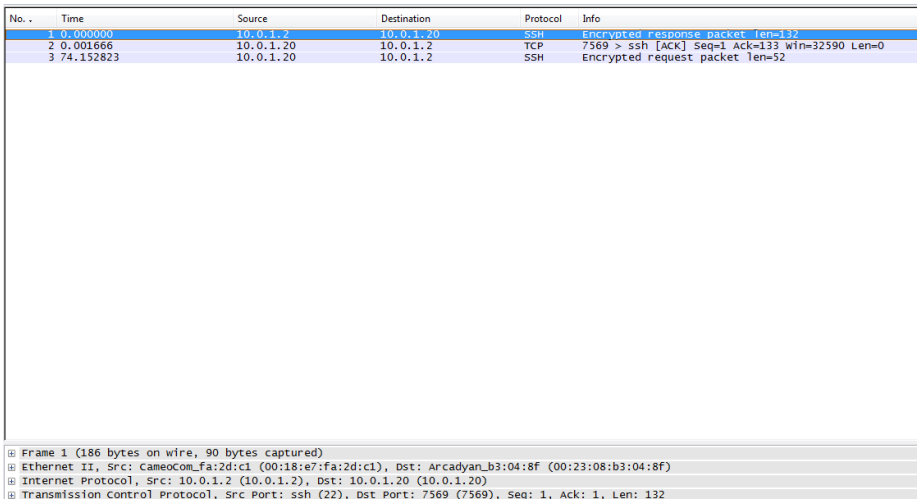


Figura 4.31: Captura de paquetes del enrutador 2 en Zona 1 (Wing)

c) Cliente softphone:

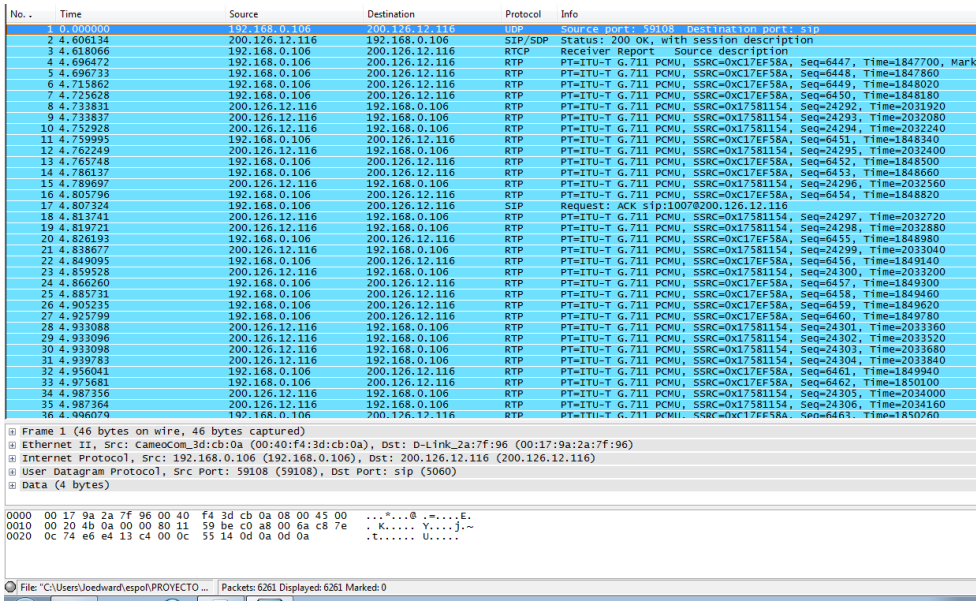


Figura 4.32: Captura de paquetes del cliente 1 en Zona 1(Wing)

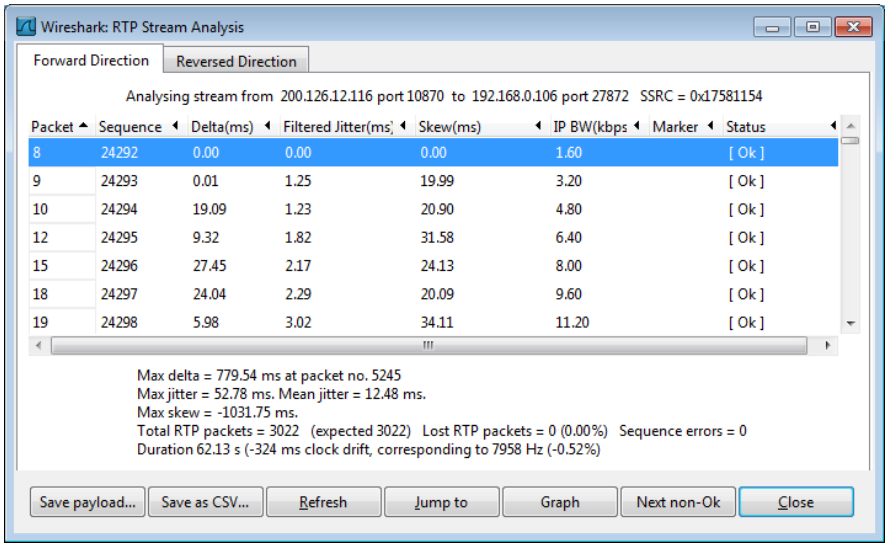


Figura 4.33: Steam RTP en el cliente en la dirección de avance en Zona 1(Wing)

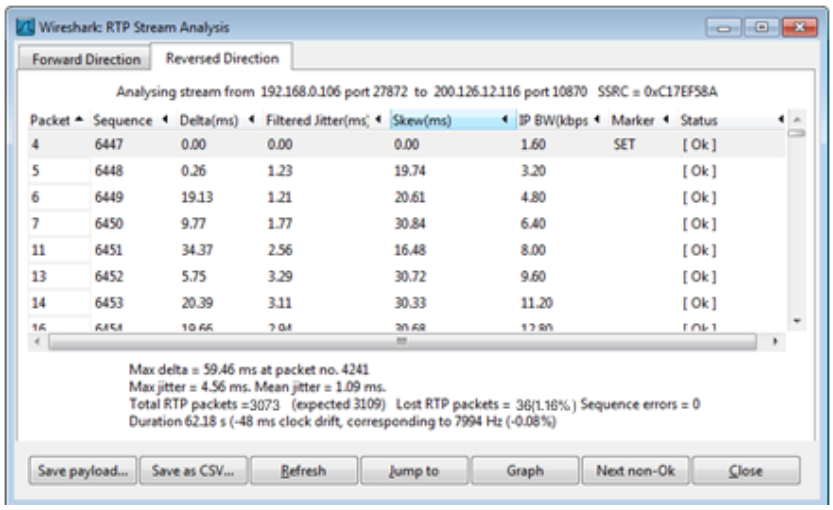


Figura 4.34: Steam RTP en el cliente en la dirección de reversa en Zona 1(Wing)

Zona 2:

a) Enrutador 1:

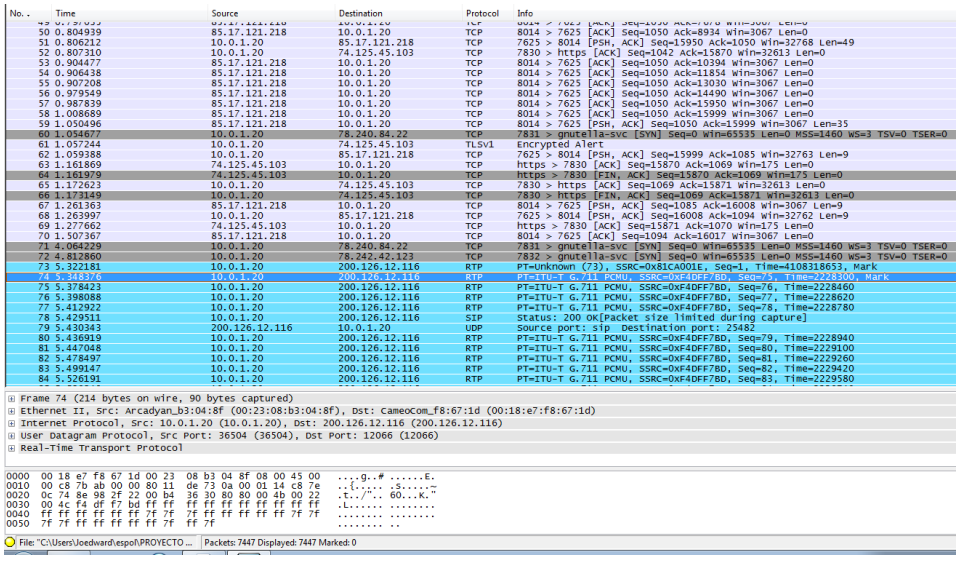


Figura 4.35: Captura de paquetes del enrutador 1 en Zona 2 (Wing)

b) Enrutador 2:

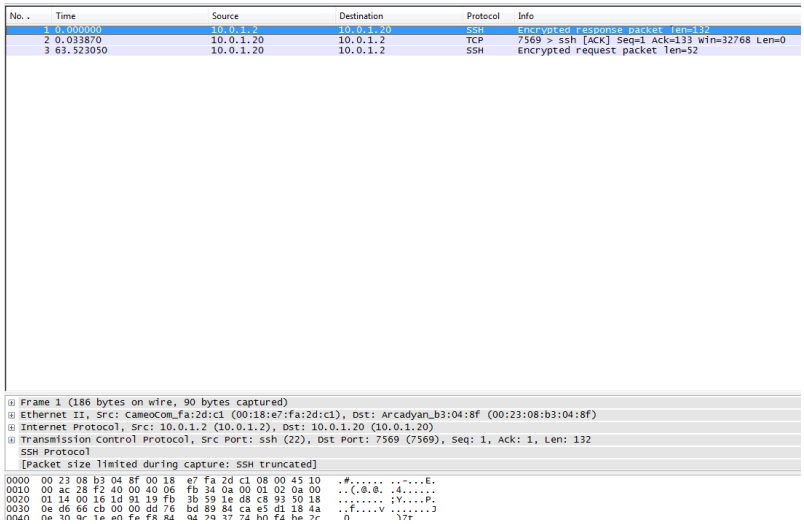


Figura 4.36: Captura de paquetes del enrutador 2 en Zona 2 (Wing)

c) Enrutador 3:

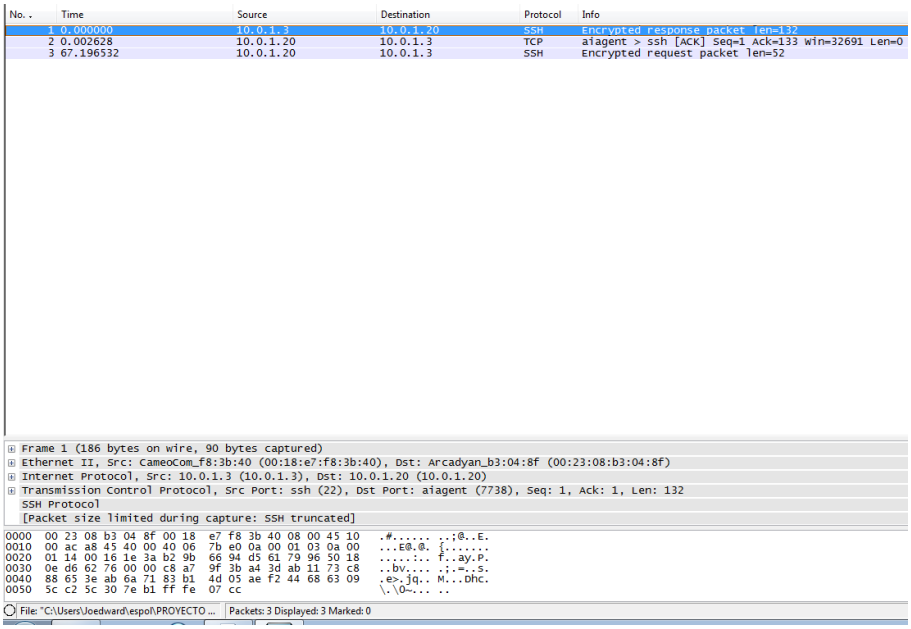


Figura 4.37: Captura de paquetes del enrutador 3 en Zona 2 (Wing)

e) Cliente softphone:

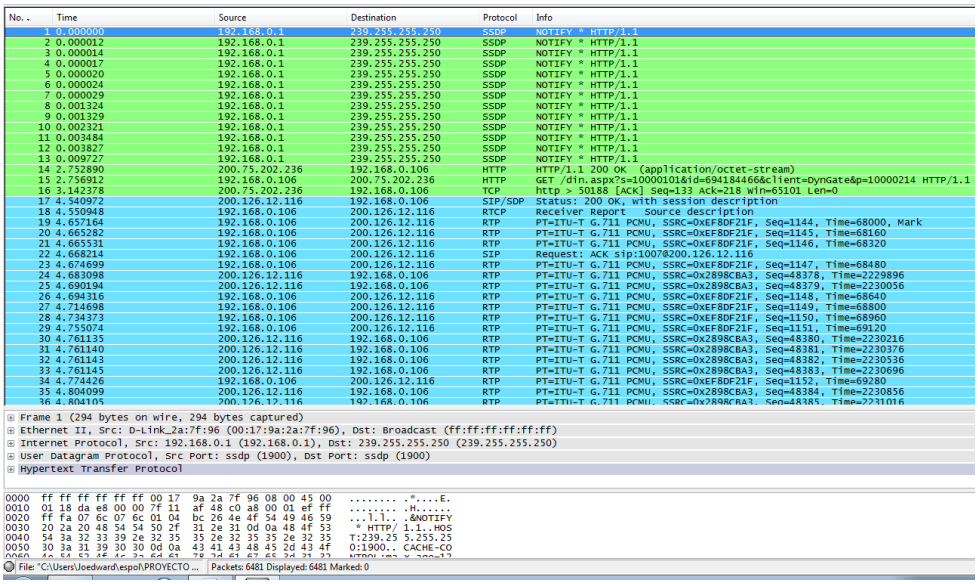


Figura 4.38: Captura de paquetes del cliente 1 en Zona 2 (Wing)

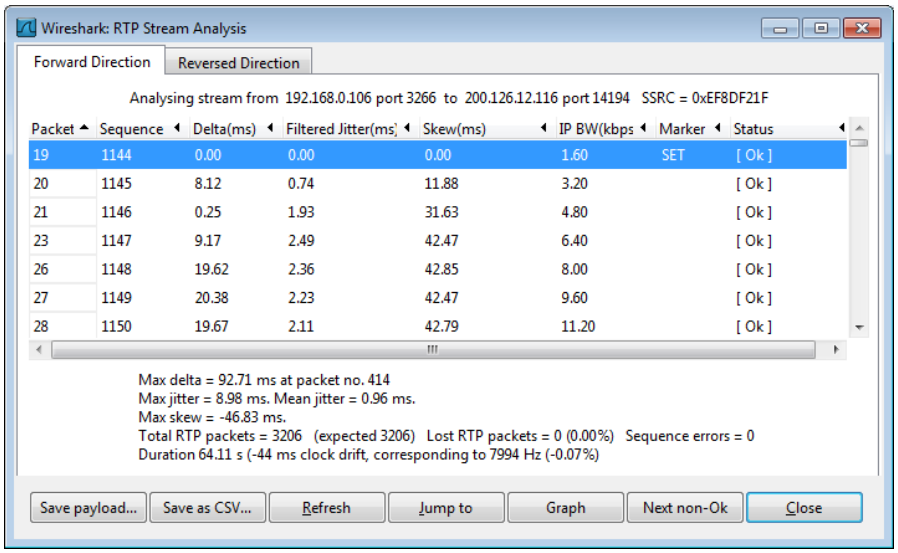


Figura 4.39: Steam RTP en el cliente en la dirección de avance en Zona 2 (Wing)

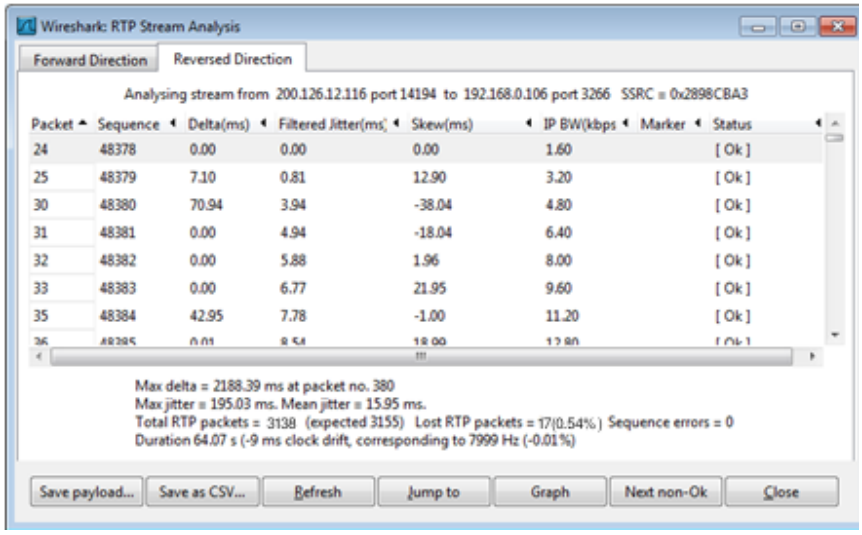


Figura 4.40: Steam RTP en el cliente en la dirección de reversa en Zona 2 (Wing)

Zona 3:

a) Enrutador 1:

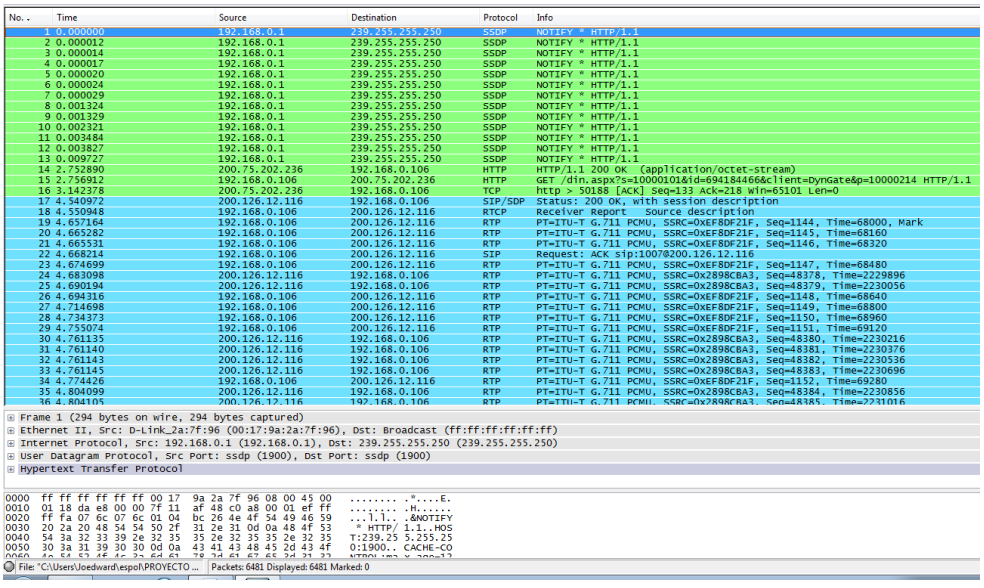


Figura 4.41: Captura de paquetes del enrutador 1 en Zona 3 (Wing)

b) Enrutador 2:

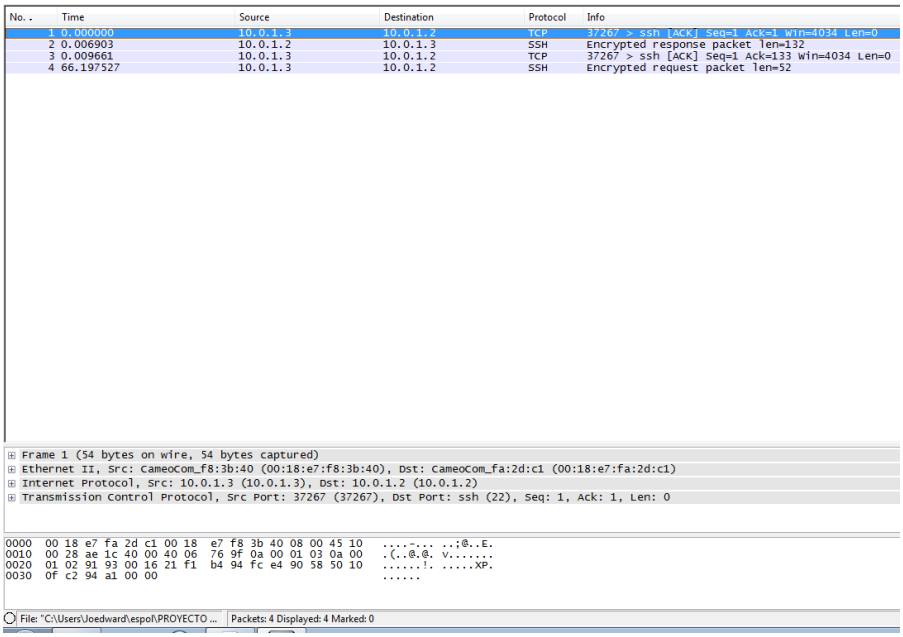


Figura 4.42: Captura de paquetes del enrutador 1 en Zona 3 (Wing)

c) Enrutador 3:

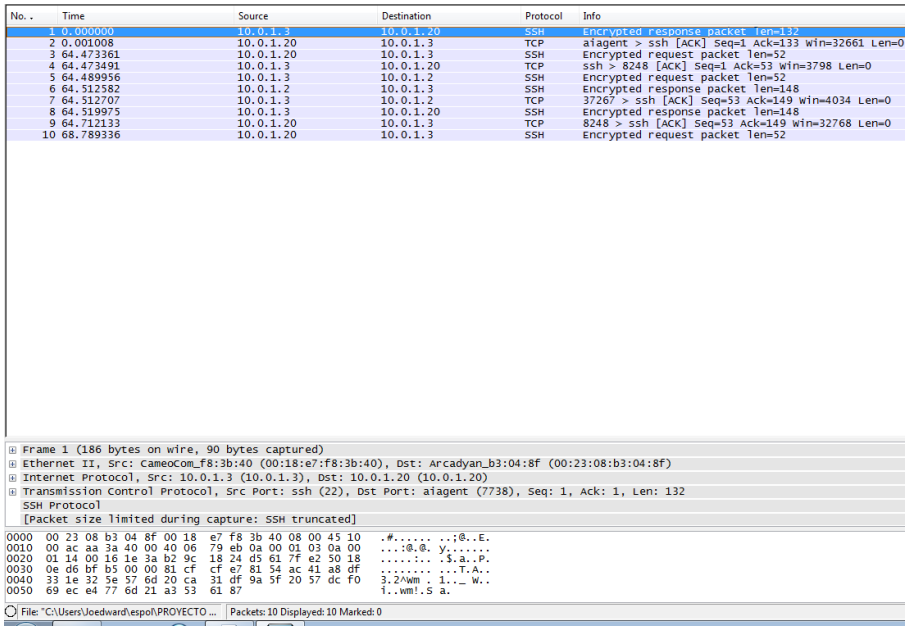


Figura 4.43: Captura de paquetes del enrutador 3 en Zona 3(Wing)

d) Enrutador 4:

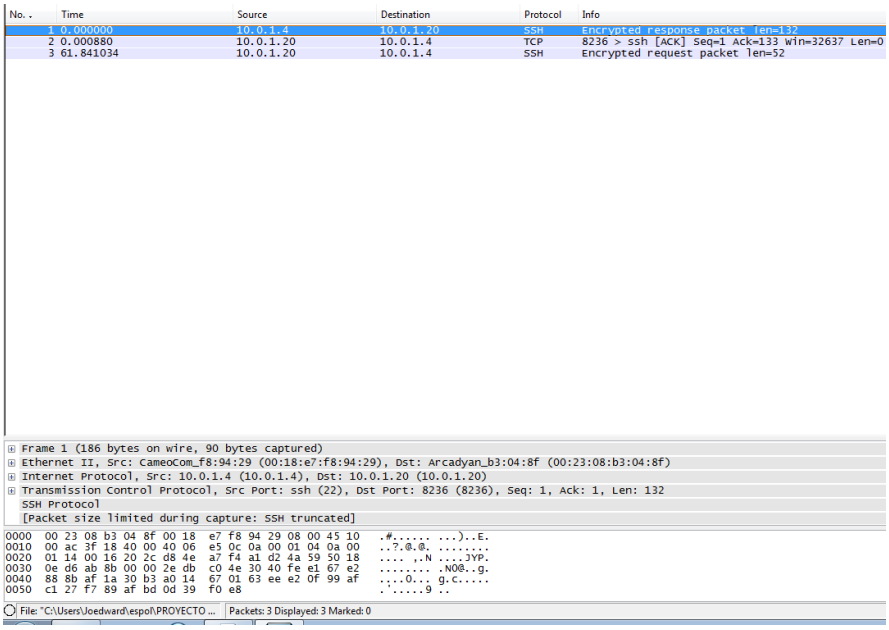


Figura 4.44: Captura de paquetes del enrutador 4 en Zona 3 (Wing)

e) Cliente softphone:

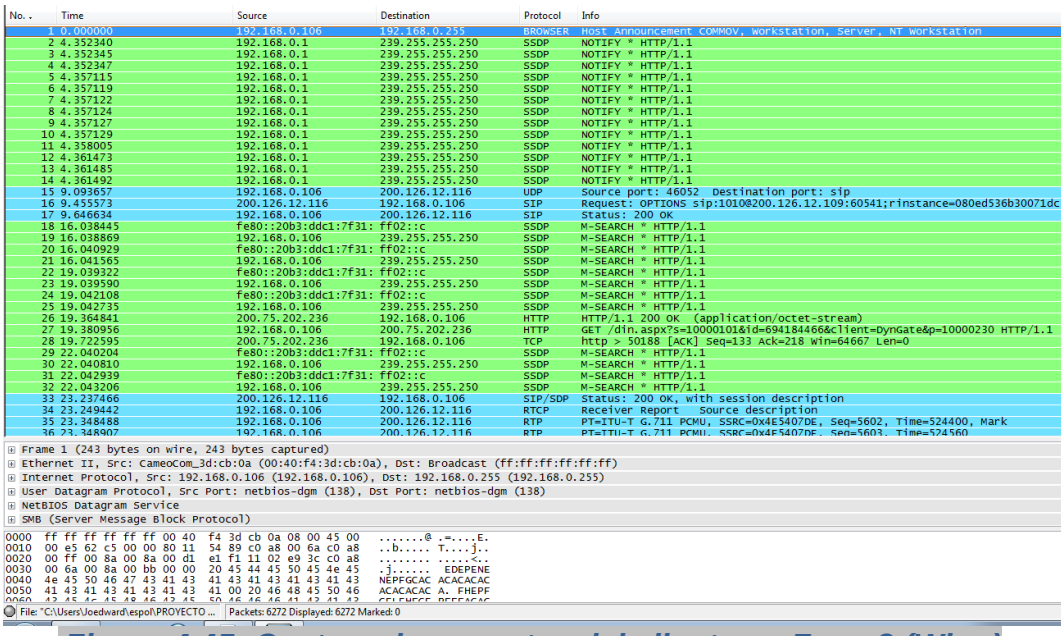


Figura 4.45: Captura de paquetes del cliente en Zona 3 (Wing)

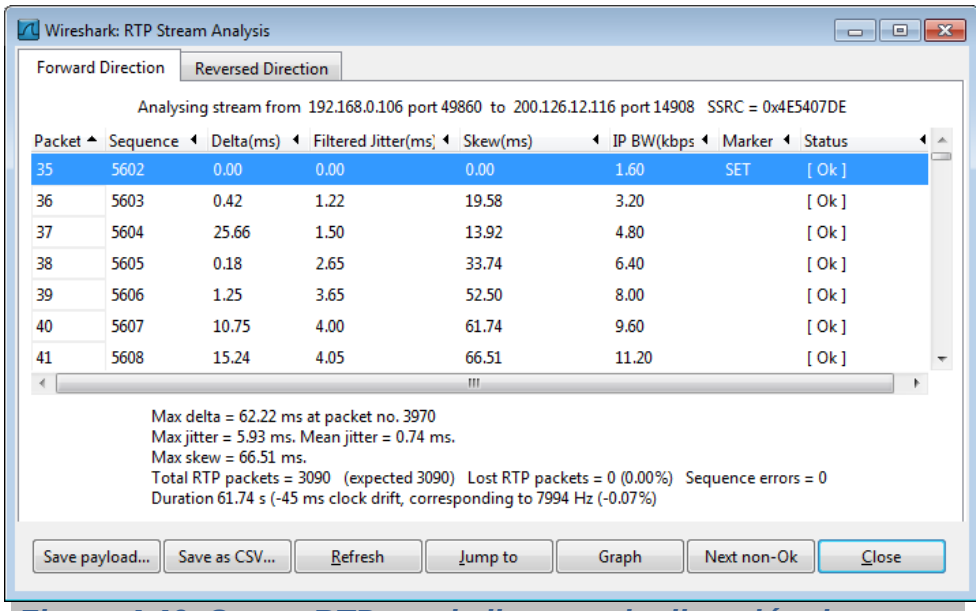


Figura 4.46: Steam RTP en el cliente en la dirección de avance en Zona 3 (Wing)

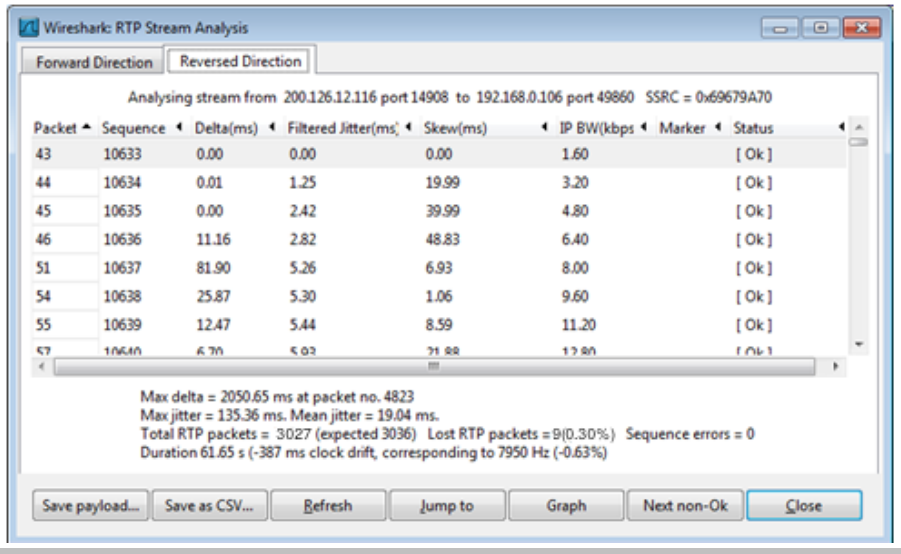
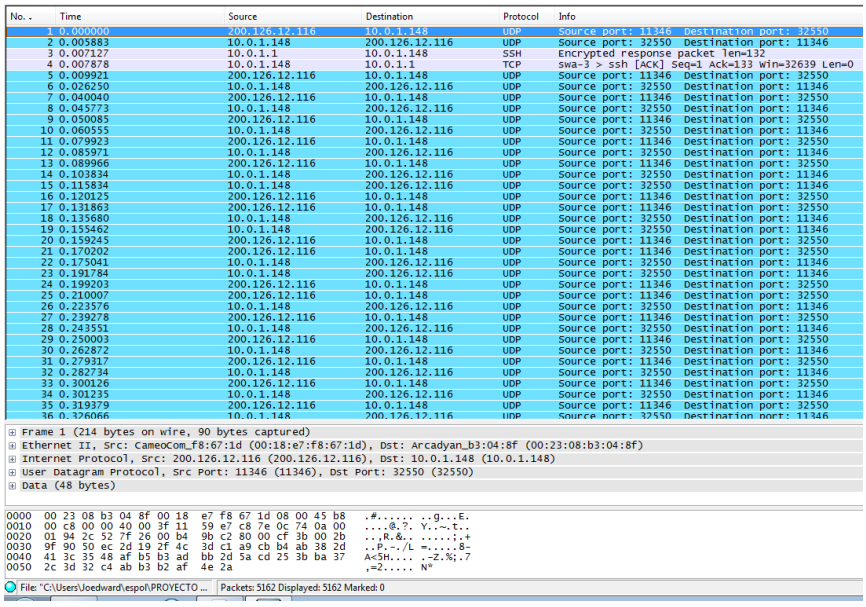


Figura 4.47: Steam RTP en el cliente en la dirección de reversa en Zona 3 (Wing)

Zona 4:

a) Enrutador 1:



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
2	0.005883	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
3	0.007127	10.0.1.1	10.0.1.148	SSH	Encrypted response packet len=132
4	0.007878	10.0.1.148	10.0.1.1	TCP	swa-3 > ssh [ACK] Seq=1 Ack=133 Win=32639 Len=0
5	0.009921	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
6	0.026250	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
7	0.040040	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
8	0.045773	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
9	0.050085	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
10	0.060555	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
11	0.079923	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
12	0.085971	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
13	0.089966	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
14	0.103834	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
15	0.115834	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
16	0.120125	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
17	0.131863	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
18	0.135680	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
19	0.155462	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
20	0.159245	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
21	0.170202	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
22	0.175041	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
23	0.191784	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
24	0.199203	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
25	0.210007	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
26	0.223576	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
27	0.239278	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
28	0.243551	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
29	0.250003	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
30	0.262872	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
31	0.279317	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
32	0.282734	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
33	0.300126	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
34	0.301235	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346
35	0.319379	200.126.12.116	10.0.1.148	UDP	Source port: 11346 Destination port: 32550
36	0.326066	10.0.1.148	200.126.12.116	UDP	Source port: 32550 Destination port: 11346

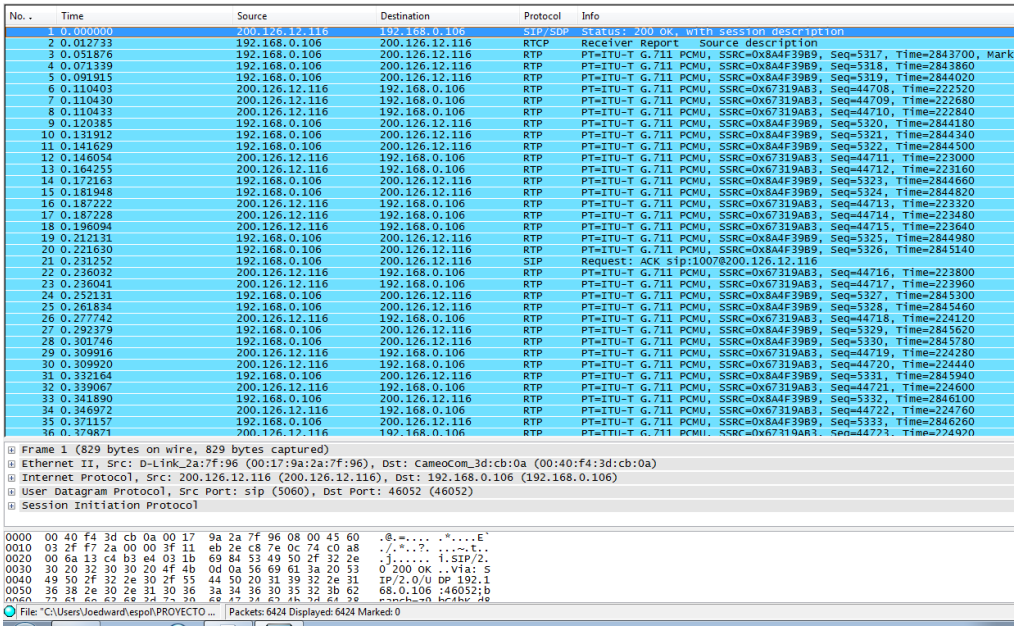
```
⊞ Frame 1 (214 bytes on wire, 90 bytes captured)
⊞ Ethernet II, Src: CameoCom_f8:67:1d (00:18:e7:f8:67:1d), Dst: Arcadyan_b3:04:8f (00:23:08:b3:04:8f)
⊞ Internet Protocol, Src: 200.126.12.116 (200.126.12.116), Dst: 10.0.1.148 (10.0.1.148)
⊞ User Datagram Protocol, Src Port: 11346 (11346), Dst Port: 32550 (32550)
⊞ Data (48 bytes)

0000  00 23 08 b3 04 8f 00 18  e7 f8 67 1d 08 00 45 b8   .#...... ..g...E.
0010  00 c8 00 00 40 00 3f 11  59 e7 c8 7e 0c 74 0a 00   ....@.?. Y..~.t..
0020  01 94 2c 52 7f 26 00 b4  9b c2 80 00 cf 3b 00 2b   ..,R.&.. .....;.+
0030  9f 90 50 ec 2d 19 2f 4c  3d c1 a9 cb b4 ab 38 2d   ..P.-./L =.....8-
0040  41 3c 35 48 af b5 b3 ad  bb 2d 5a cd 25 3b ba 37   A<5H.... .-Z.%;.7
0050  2c 3d 32 c4 ab b3 b2 af  4e 2a                     ,=2..... N*
```

File: "C:\Users\Joedward\espol\PROYECTO ... Packets: 5162 Displayed: 5162 Marked: 0

Figura 4.48: Captura de paquetes del enrutador 1 en Zona 4 (Wing)

b) Cliente softphone:



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Info
1	0.000000	200.126.12.116	192.168.0.106	SIP/SDP	Status: 200 OK, with session description
2	0.012733	192.168.0.106	200.126.12.116	RTCP	Receiver Report Source description
3	0.051876	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5317, Time=2843700, Mark
4	0.071339	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5318, Time=2843860
5	0.091915	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5319, Time=2844020
6	0.110403	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44708, Time=222520
7	0.110430	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44709, Time=222680
8	0.110433	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44710, Time=222840
9	0.120385	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5320, Time=2844180
10	0.131912	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5321, Time=2844340
11	0.141629	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5322, Time=2844500
12	0.146054	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44711, Time=223000
13	0.164255	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44712, Time=223160
14	0.172163	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5323, Time=2844660
15	0.181948	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5324, Time=2844820
16	0.187222	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44713, Time=223320
17	0.187228	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44714, Time=223480
18	0.196094	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44715, Time=223640
19	0.212131	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5325, Time=2844980
20	0.221630	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5326, Time=2845140
21	0.231252	192.168.0.106	200.126.12.116	SIP	Request: ACK sip:1007@200.126.12.116
22	0.236032	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44716, Time=223800
23	0.236041	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44717, Time=223960
24	0.252131	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5327, Time=2845300
25	0.261834	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5328, Time=2845460
26	0.277742	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44718, Time=224120
27	0.292379	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5329, Time=2845620
28	0.301746	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5330, Time=2845780
29	0.309916	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44719, Time=224280
30	0.309920	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44720, Time=224440
31	0.332164	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5331, Time=2845940
32	0.339067	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44721, Time=224600
33	0.341890	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5332, Time=2846100
34	0.346972	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44722, Time=224760
35	0.371157	192.168.0.106	200.126.12.116	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x8A4F39B9, Seq=5333, Time=2846260
36	0.379871	200.126.12.116	192.168.0.106	RTP	PT=ITU-T G.711 PCMU, SSRC=0x67319AB3, Seq=44723, Time=224920

```
⊞ Frame 1 (829 bytes on wire, 829 bytes captured)
⊞ Ethernet II, Src: D-Link_2a:7f:96 (00:17:9a:2a:7f:96), Dst: CameoCom_3d:cb:0a (00:40:f4:3d:cb:0a)
⊞ Internet Protocol, Src: 200.126.12.116 (200.126.12.116), Dst: 192.168.0.106 (192.168.0.106)
⊞ User Datagram Protocol, Src Port: sip (5060), Dst Port: 46052 (46052)
⊞ Session Initiation Protocol

0000  00 40 f4 3d cb 0a 00 17  9a 2a 7f 96 08 00 45 60   .@.=.... .*....E`
0010  03 2f f7 2a 00 00 3f 11  eb 2e c8 7e 0c 74 c0 a8   ./.*..?. ...~.t..
0020  00 6a 13 c4 b3 e4 03 1b  69 84 53 49 50 2f 32 2e   .j...... i.SIP/2.
0030  30 20 32 30 30 20 4f 4b  0d 0a 56 69 61 3a 20 53   0 200 OK ..Via: S
0040  49 50 2f 32 2e 30 2f 55  44 50 20 31 39 32 2e 31   IP/2.0/U DP 192.1
0050  36 38 2e 30 2e 31 30 36  3a 34 36 30 35 32 3b 62   68.0.106 :46052;b
0060  72 61 6e 63 68 3d 7a 39  68 47 34 62 4b 2d 64 38   ranch=z9 hG4bK-d8
```

File: "C:\Users\Joedward\espol\PROYECTO ... Packets: 6424 Displayed: 6424 Marked: 0

Figura 4.49: Captura de paquetes del cliente en Zona 4 (Wing)

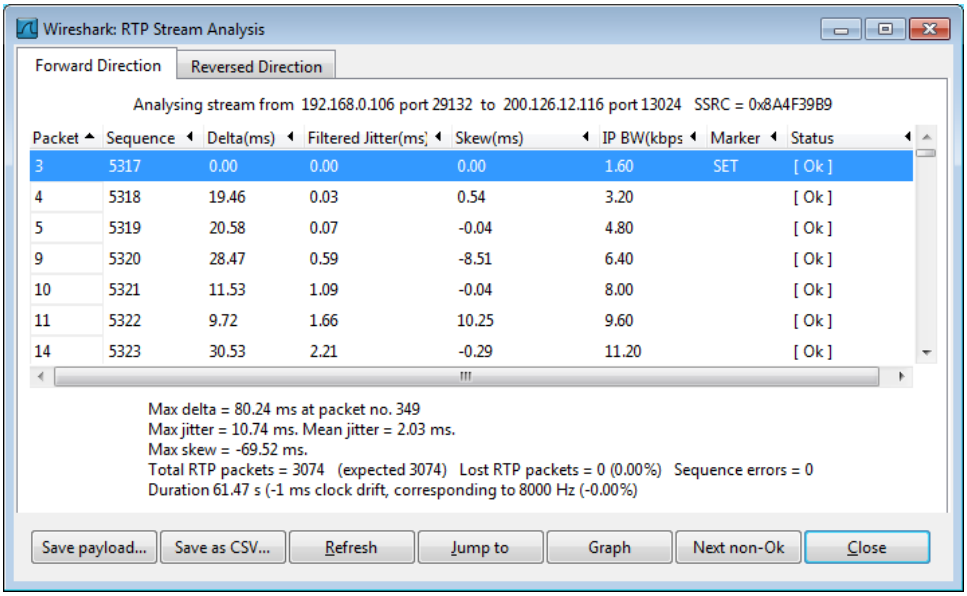


Figura 4.50: Steam RTP en el cliente en la dirección de avance en Zona 4 (Wing)

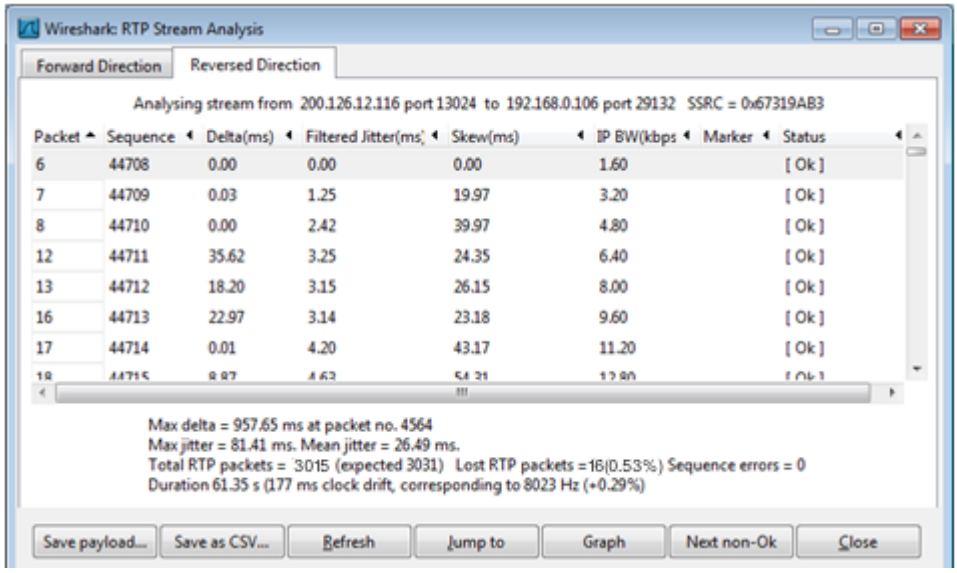


Figura 4.51: Steam RTP en el cliente en la dirección de reversa en Zona 4 (Wing)

4.4. Pruebas Empleando OLSR como Protocolo de Enrutamiento Inalámbrico Mesh

En esta sección se detallan las pruebas llevadas a cabo en la red inalámbrica mallada empleando el protocolo de enrutamiento O.L.S.R.x

4.4.1. Pérdida de Paquetes, Jitter, Ancho De Banda, Retardo

Se realizaron las pruebas en cada zona, usando el protocolo de enrutamiento OLSR, realizando llamadas telefónicas y capturando los paquetes que viajaban en la red usando la herramienta de captura de paquetes Wireshark. Los detalles se muestran a continuación:

Zona 1:

a) Enrutador 1:

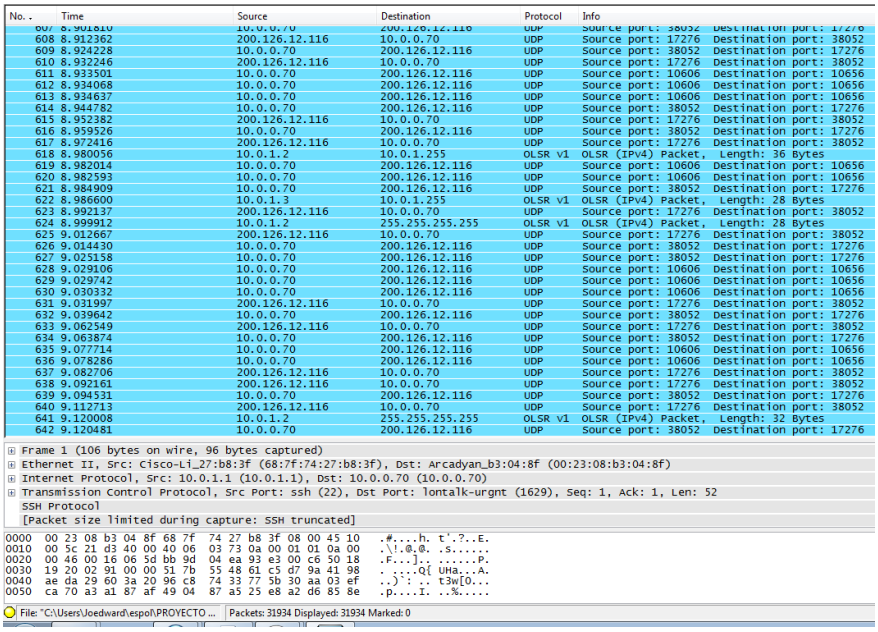


Figura 4.52: Captura de paquetes del enrutador 1 en Zona 1 (OLSR)

b) Enrutador 2:

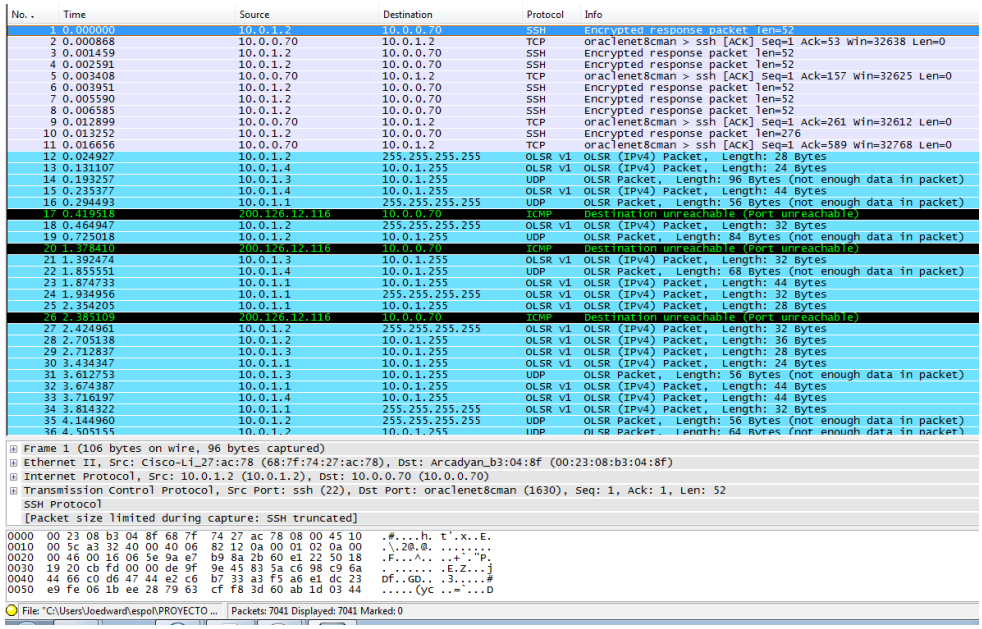


Figura 4.53: Captura de paquetes del enrutador 2 en Zona 1 (OLSR)

c) Cliente softphone:

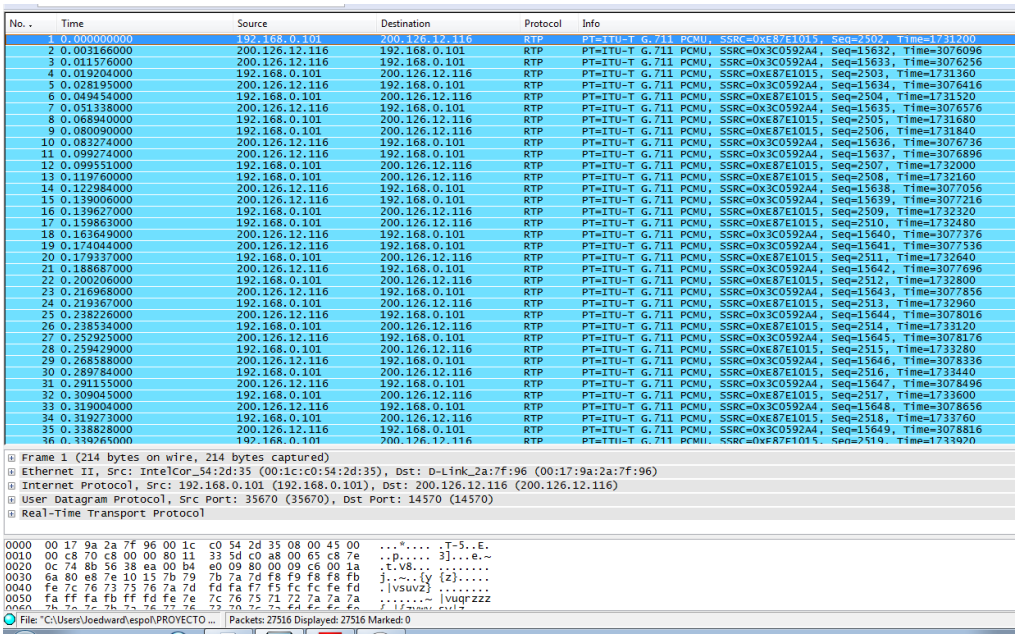


Figura 4.54: Captura de paquetes del cliente en Zona 1 (OLSR)

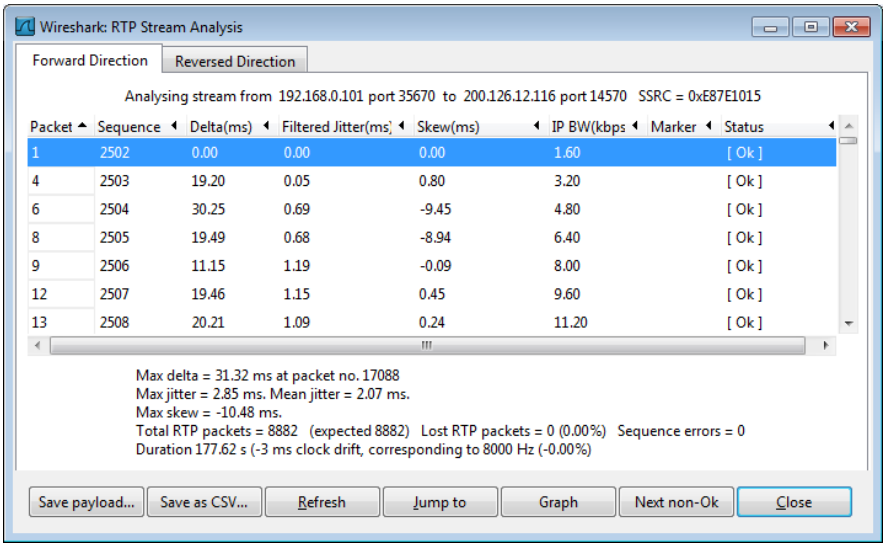


Figura 4.55: Steam RTP en el cliente en la dirección de avance en Zona 1(OLSR)

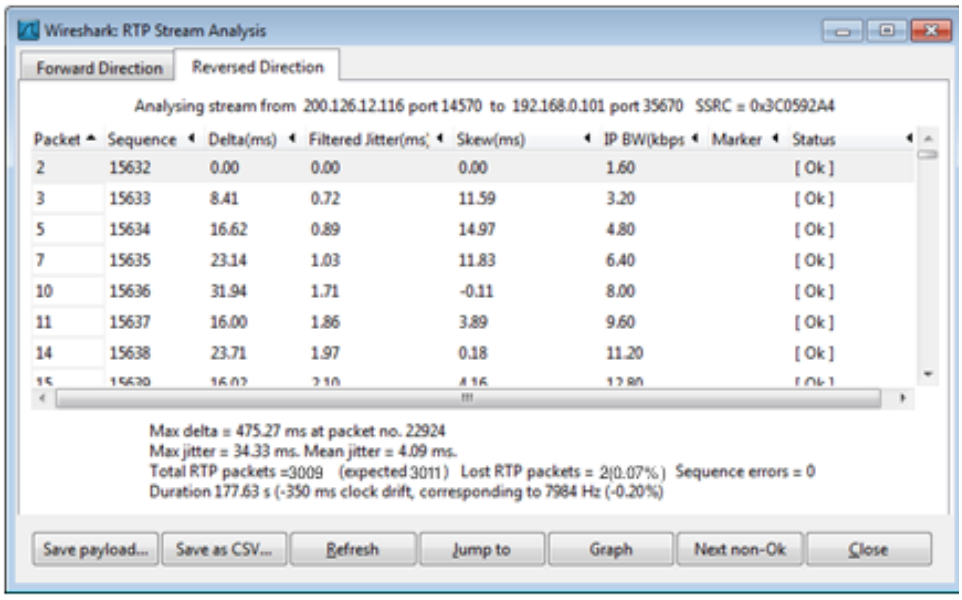


Figura 4.56: Steam RTP en el cliente en la dirección de reversa

Zona 2:

a) Enrutador 1:

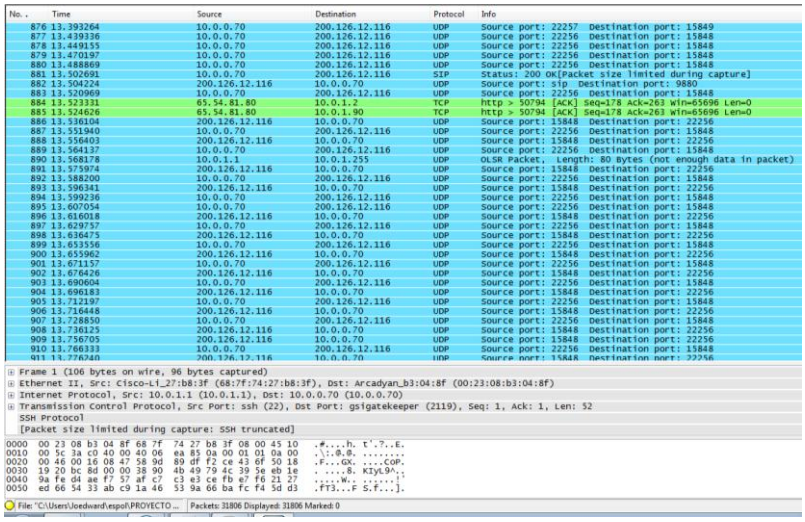


Figura 4.57: Captura de paquetes del enrutador 1 en Zona 2 (OLSR)

b) Enrutador 2:

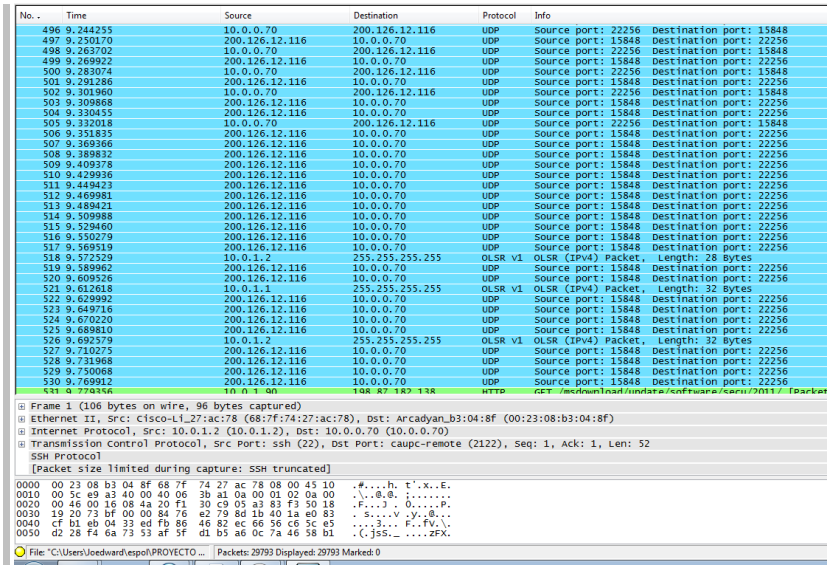


Figura 4.58: Captura de paquetes del enrutador 2 en Zona 2 (OLSR)

c) Enrutador 3:

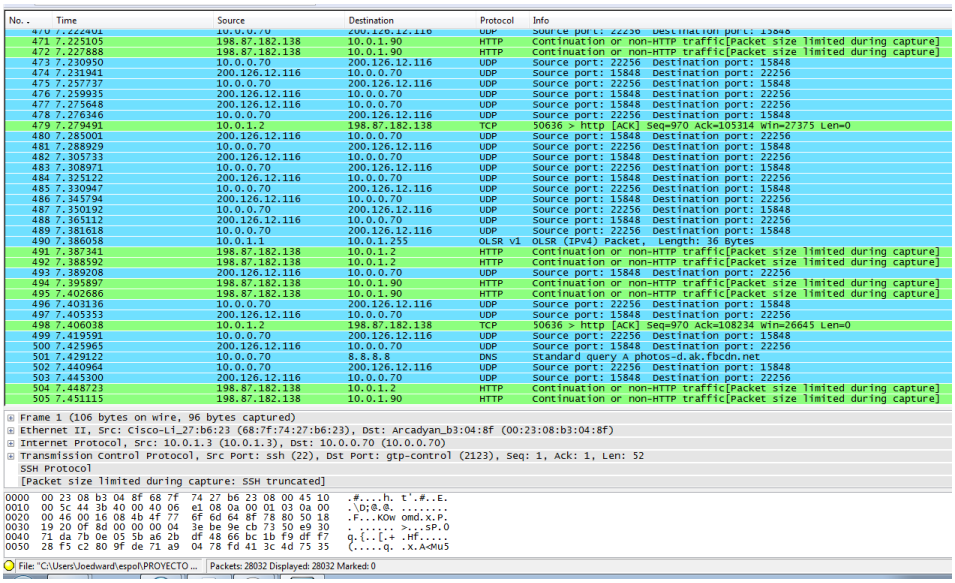


Figura 4.59: Captura de paquetes del enrutador 3 en Zona 2 (OLSR))

d) Enrutador 4:

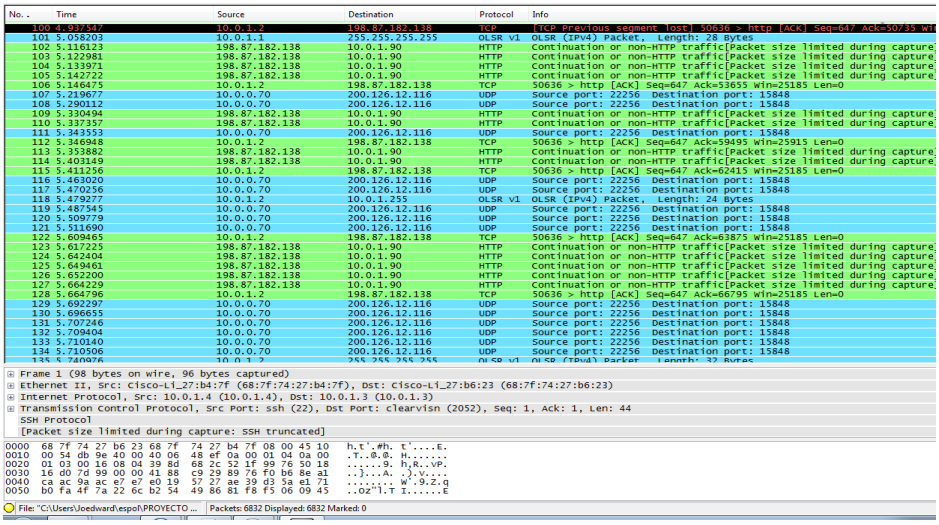


Figura 4.60: Captura de paquetes del enrutador 4 en Zona 2 (OLSR)

e) Cliente softphone:

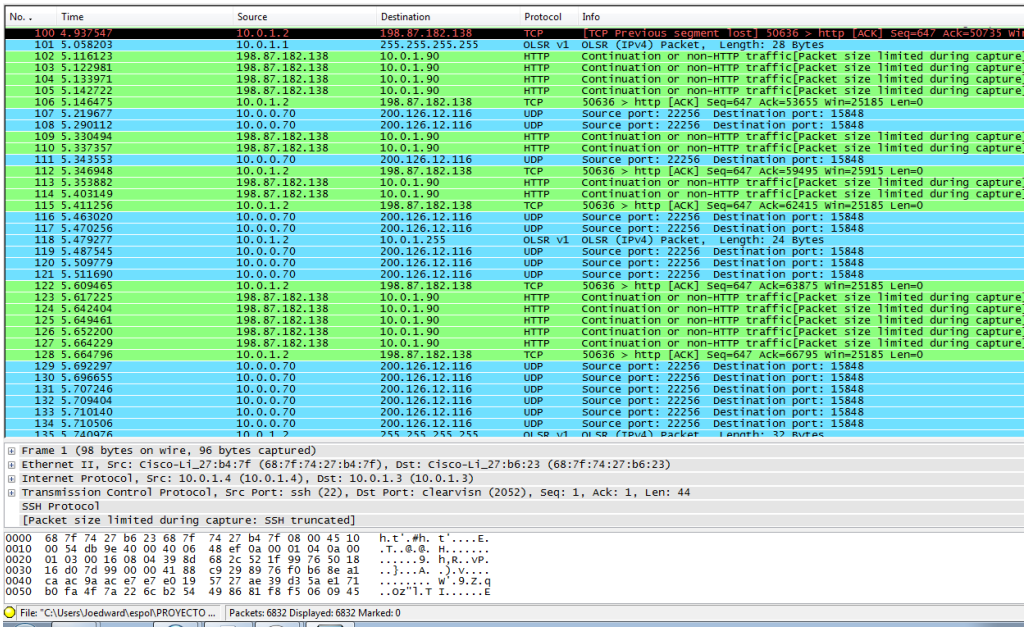


Figura 4.61: Captura de paquetes del cliente en Zona 2 (OLSR))

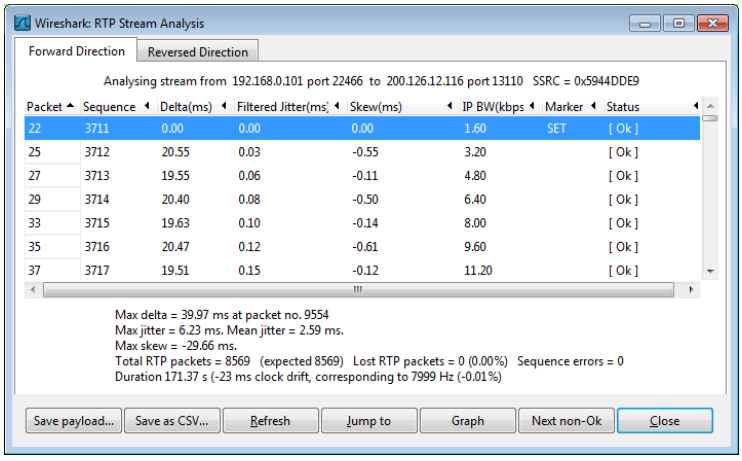


Figura 4.62: Steam RTP en el cliente en la dirección de avance en Zona 2 (OLSR)

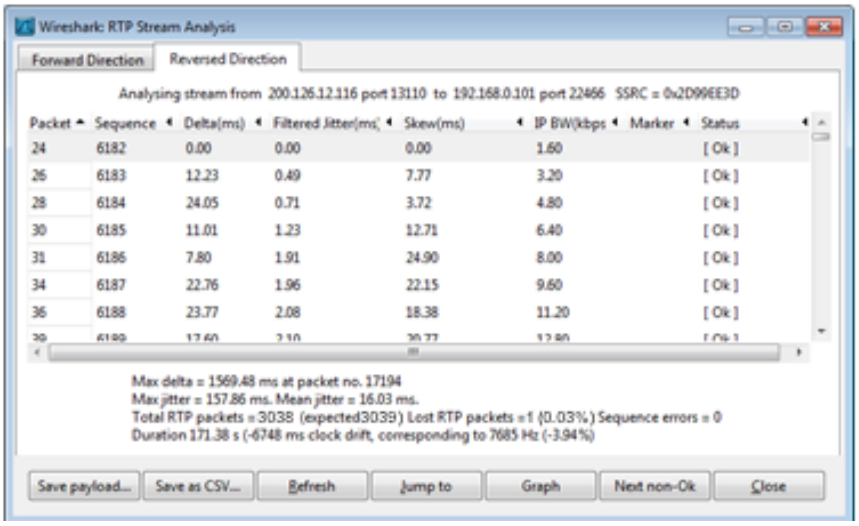


Figura 4.63: Steam RTP en el cliente en la dirección de reversa

Zona 3:

a) Enrutador 1:

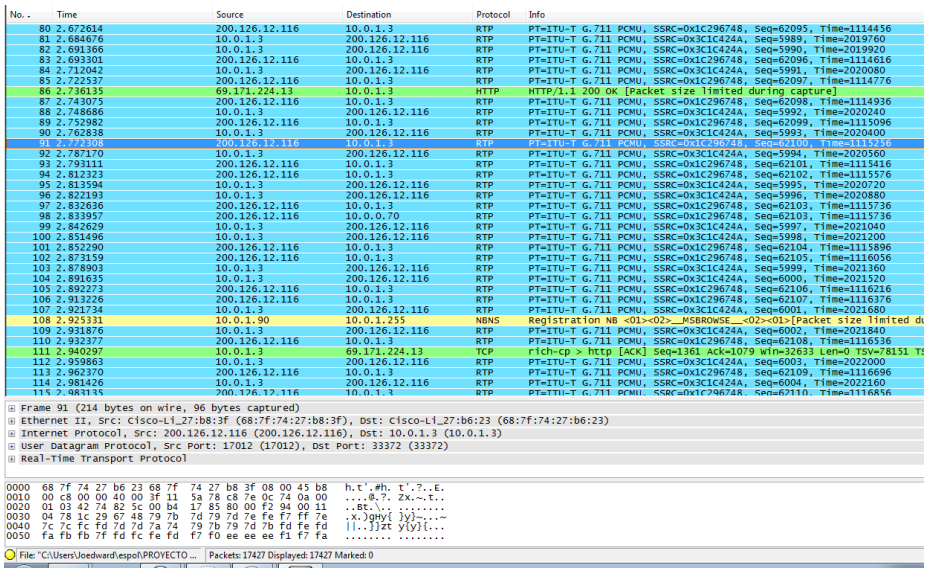


Figura 4.64: Captura de paquetes del enrutador 1 en Zona 3 (OLSR)

b) Enrutador 2:

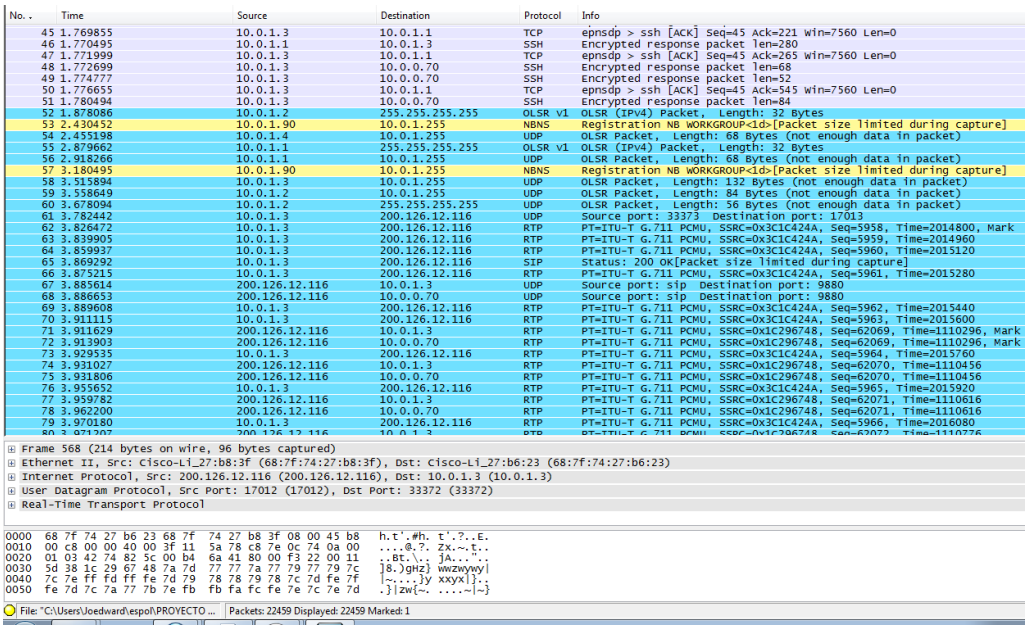


Figura 4.65: Captura de paquetes del enrutador 2 en zona 3(OLSR)

c) Enrutador 3:

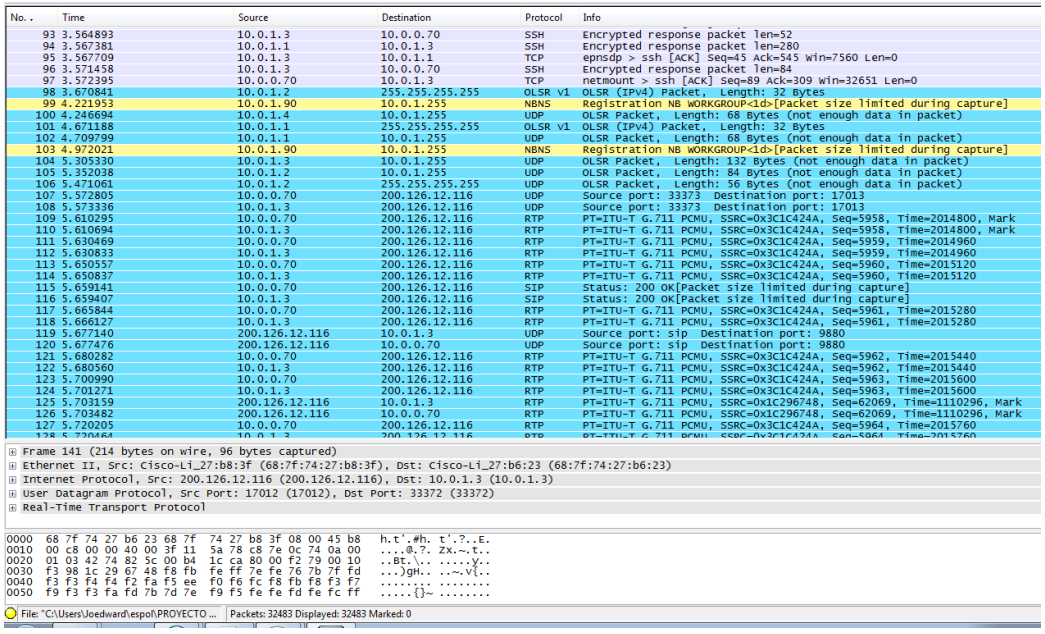


Figura 4.66: Captura de paquetes del enrutador 3 en zona 3 (OLSR)

d) Enrutador 4:

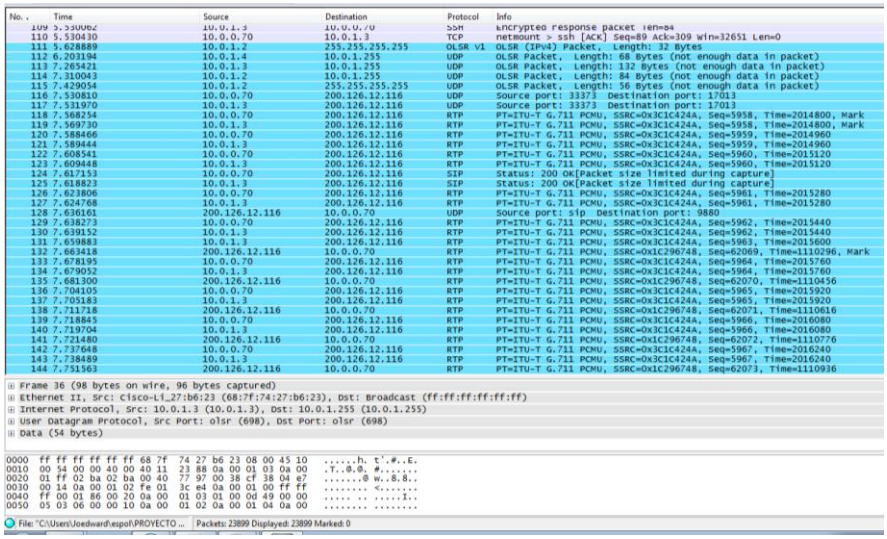


Figura 4.67: Captura de paquetes del enrutador 4 en zona 3 (OLSR)

e) Cliente softphone:

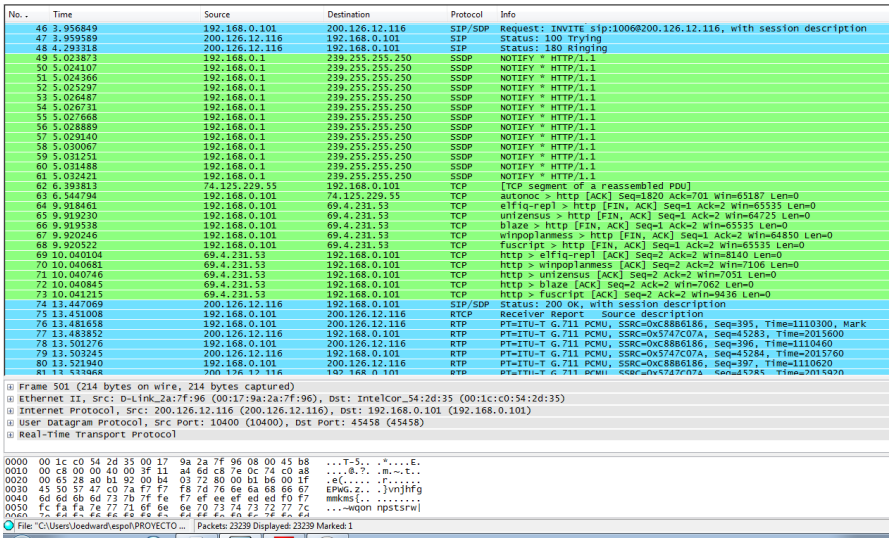


Figura 4.68: Captura de paquetes del cliente en zona 3 (OLSR)

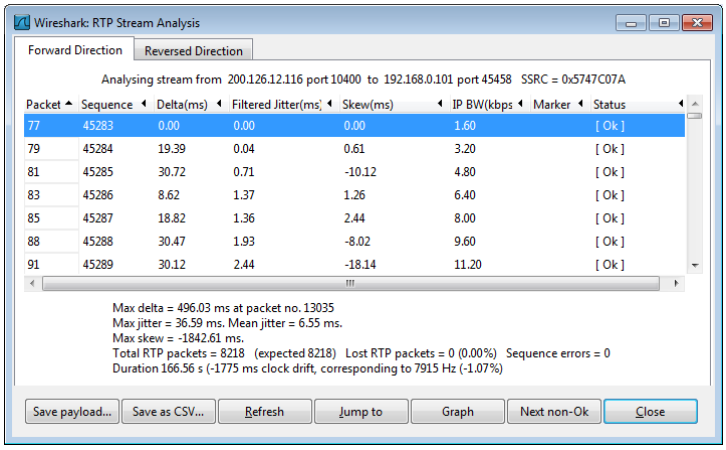


Figura 4.69: Steam RTP en el cliente en la dirección de avance en Zona 3 (OLSR)

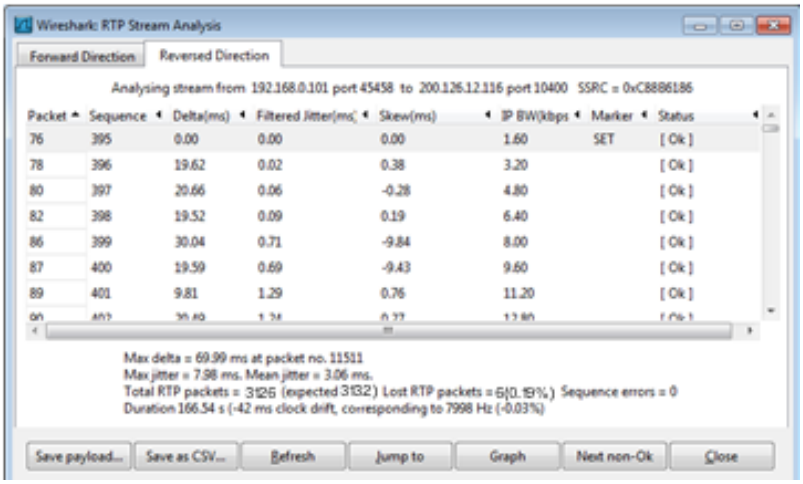


Figura 4.70: Steam RTP en el cliente en la dirección de reversa en Zona 3 (OLSR)

Zona 4:

a) Enrutador 1:

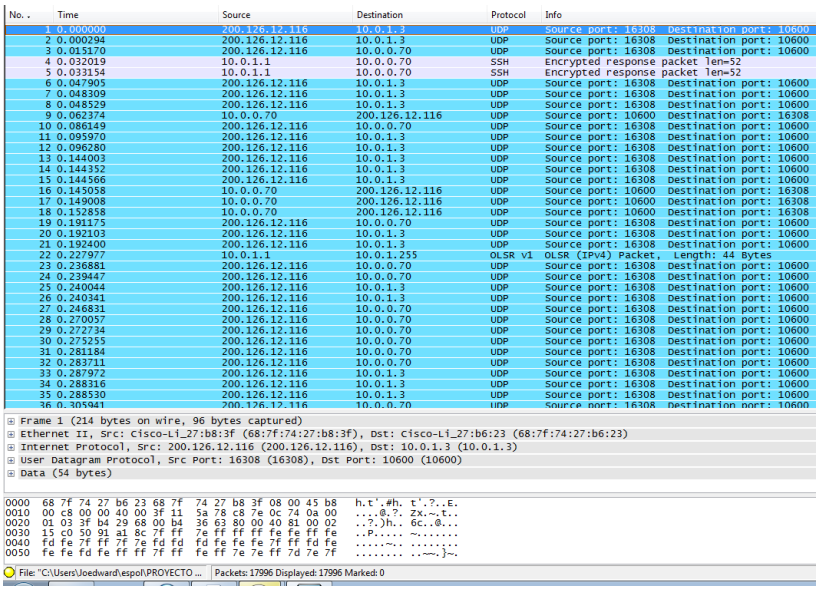


Figura 4.71: Captura de paquetes del enrutador 1 en Zona 4 (OLSR)

b) Cliente softphone:

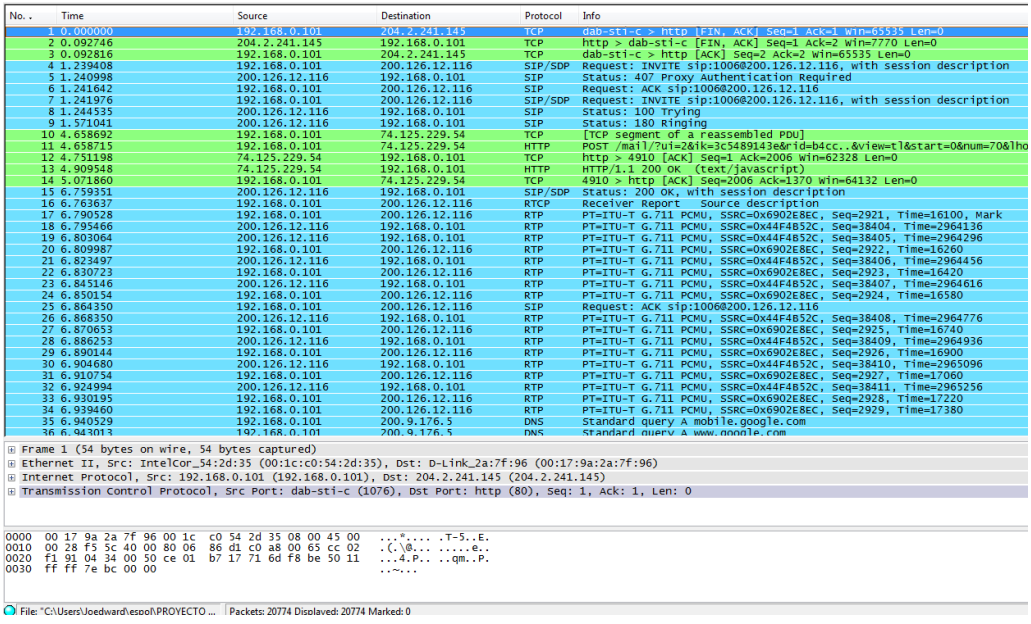


Figura 4.72: Captura de paquetes del cliente en Zona 4 (OLSR)

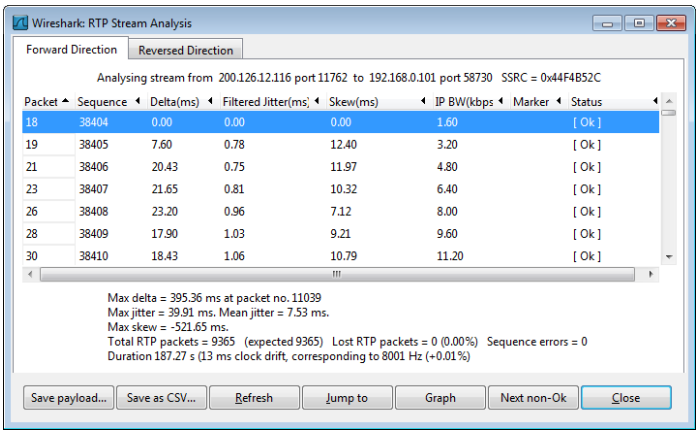


Figura 4.73: Steam RTP en el cliente en la dirección de avance en Zona 4 (OLSR)

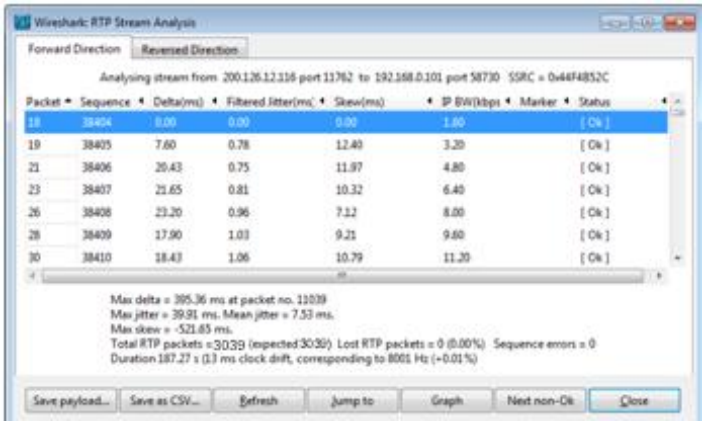


Figura 4.74: Steam RTP en el cliente en la dirección de reversa en Zona 4 (OLSR)

Con estas capturas se procedió a realizar un análisis de ancho de banda, jitter y retardo en función del tiempo. Dado que la cantidad de paquetes es muy grande se promediaron los valores cada 4 segundos, esto da aproximadamente unos 15 puntos, dado que son alrededor de 60 minutos de duración de llamadas. Para ello, en primer lugar, se exportaron los datos capturados a Excel, como se muestra a continuación:

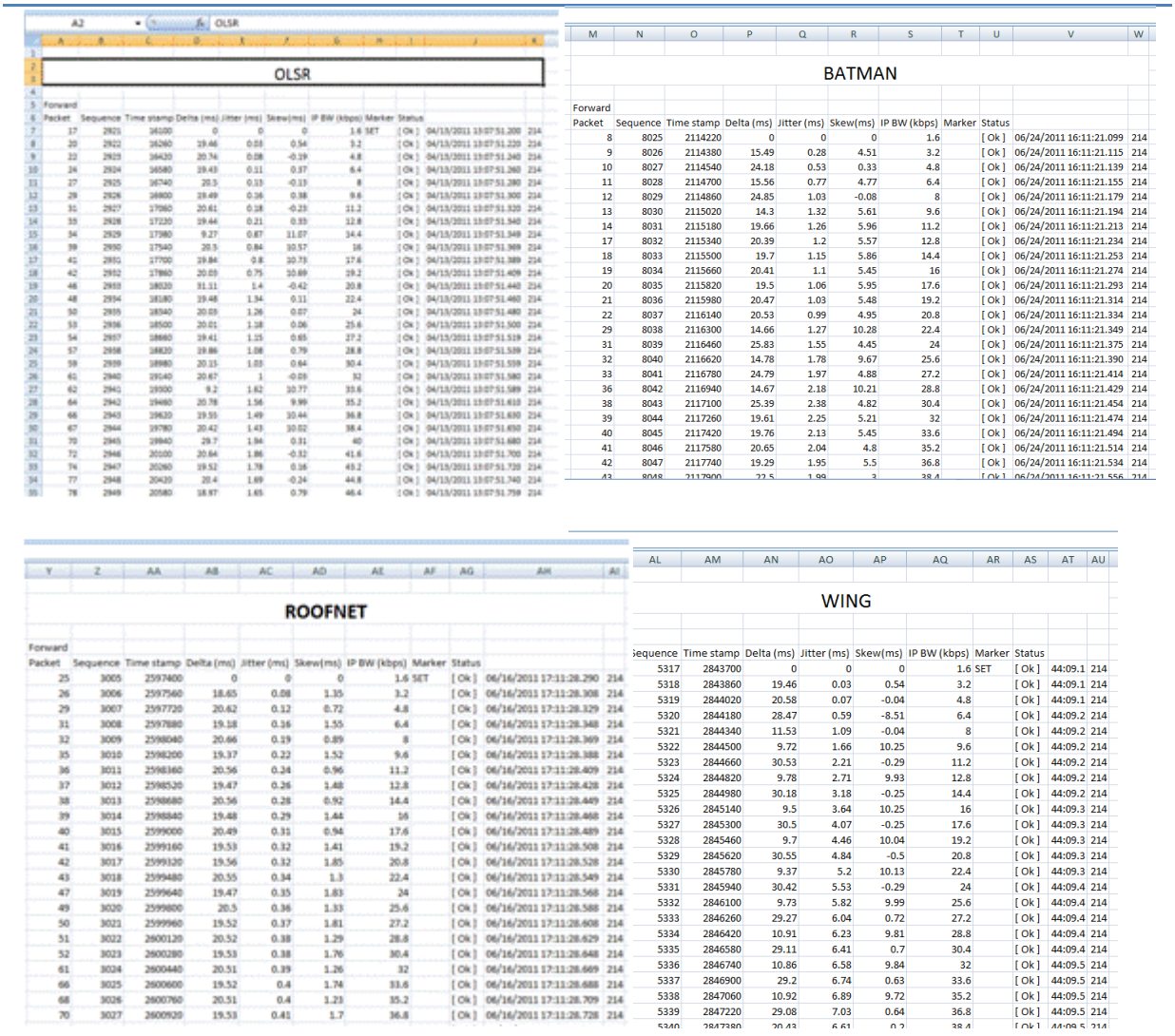


Figura 4.75: Exportación a Excel de los paquetes de cada protocolo de enrutamiento capturados con Wireshark

Posteriormente, estos valores fueron exportados a Matlab, donde mediante el código de programa se calcularon los valores promedios de ancho de banda, retardo y jitter.

Las gráficas obtenidas se muestran y se analizan en el capítulo siguiente. Con ellos se procedió a hacer el análisis respectivo de cada protocolo para determinar cuál de ellos es más eficiente.

A continuación se detalla el análisis estadístico de los datos que se capturaron en Wireshark en el softphone instalado en la computadora de escritorio. Para ello, se hizo uso de la herramienta de análisis estadístico MINITAB, donde se procedió a ingresar los valores de retardo, jitter y delay para cada protocolo en cada una de las zonas definidas. Se obtuvo para cada parámetro sus respectivos valores de desviación estándar y media para usarlos en el análisis de los intervalos de confianza. Luego se muestra un histograma que representa la frecuencia con la que se presentaron los valores. Finalmente, se presenta el respectivo análisis de intervalos de confianza para la media poblacional, con los datos que se obtuvieron.

a. Zona 1:

OLSR

Descriptive Statistics: RETARDO OZ1; JITTER OZ1; BW OZ1

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
RETARDO OZ1	3038	0	20.016	0.115	6.351	0.500	18.800	20.235	22.040
JITTER OZ1	3038	0	3.8770	0.0279	1.5404	0.7200	2.9500	3.3700	4.6300
BW OZ1	3038	0	80.068	0.106	5.826	3.200	80.000	80.000	81.600

Variable	Maximum
RETARDO OZ1	141.170
JITTER OZ1	17.3100
BW OZ1	94.400

Figura 4.76: Información de estadística descriptiva para OLSR en la zona 1

Retardo:

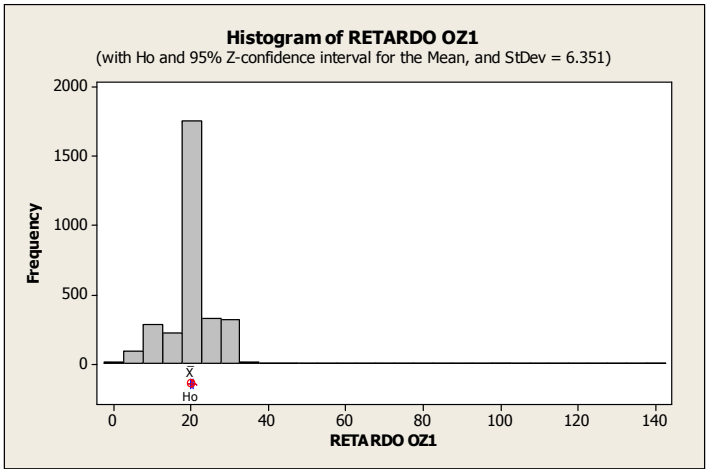


Figura 4.77: Histograma de frecuencias para el retardo de OLSR en la zona 1

One-Sample Z: RETARDO OZ1

```
Test of mu = 20.016 vs not = 20.016
The assumed standard deviation = 6.351

Variable        N     Mean   StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
RETARDO OZ1  3038  20.0155  6.3510   0.1152  (19.7897; 20.2414)  -0.00  0.997
```

Figura 4.78: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de OLSR en la zona 1

Jitter:

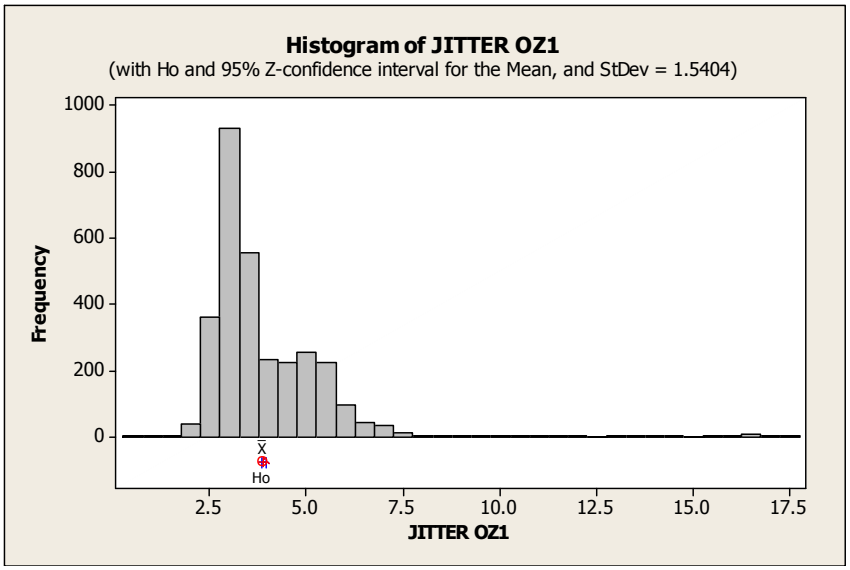


Figura 4.79: Histograma de frecuencias para el jitter de OLSR en la zona 1

One-Sample Z: JITTER OZ1

```
Test of mu = 3.877 vs not = 3.877
The assumed standard deviation = 1.5404

Variable       N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
JITTER OZ1  3038  3.87702  1.54037  0.02795  (3.82224; 3.93179)  0.00  0.999
```

Figura 4.80: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de OLSR en la zona 1

Ancho de Banda:

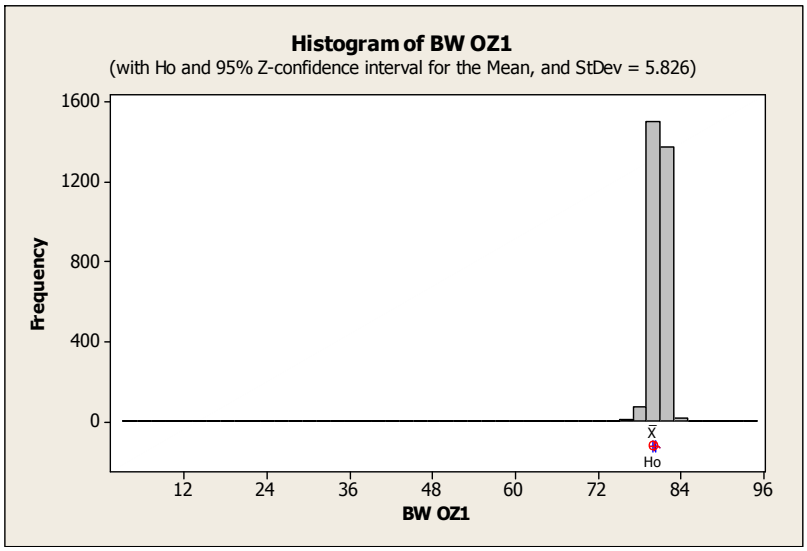


Figura 4.81: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de OLSR en la zona 1

One-Sample Z: BW OZ1

Test of mu = 80.068 vs not = 80.068
The assumed standard deviation = 5.826

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	Z	P
BW OZ1	3038	80.0685	5.8263	0.1057	(79.8613; 80.2756)	0.00	0.996

Figura 4.82: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de OLSR en la zona 1

BATMAN

Descriptive Statistics: RETARDO BZ1; JITTER BZ1; BW BZ1

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
RETARDO BZ1	3134	0	20.264	0.271	15.162	0.000000000	17.490	19.960
JITTER BZ1	3134	0	4.9808	0.0718	4.0178	0.2100	2.8200	3.8800
BW BZ1	3134	0	79.316	0.140	7.864	3.200	80.000	80.000

Variable	Q3	Maximum
RETARDO BZ1	22.143	439.220
JITTER BZ1	5.9000	31.8900
BW BZ1	81.600	110.400

Figura 4.83: Información de estadística descriptiva para BATMAN en la zona 1

Retardo:

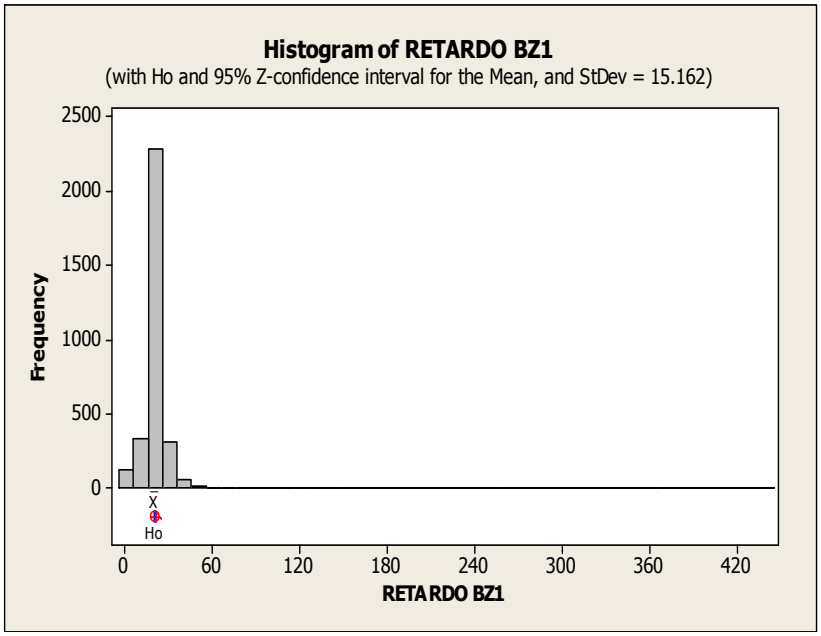


Figura 4.84: Histograma de frecuencias para el retardo de BATMAN en la zona 1

One-Sample Z: RETARDO BZ1

```
Test of mu = 20.264 vs not = 20.264
The assumed standard deviation = 15.162

Variable        N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
RETARDO BZ1  3134  20.2644  15.1623   0.2708  (19.7336; 20.7952)   0.00  0.999
```

Figura 4.85: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de BATMAN en la zona 1

Jitter:

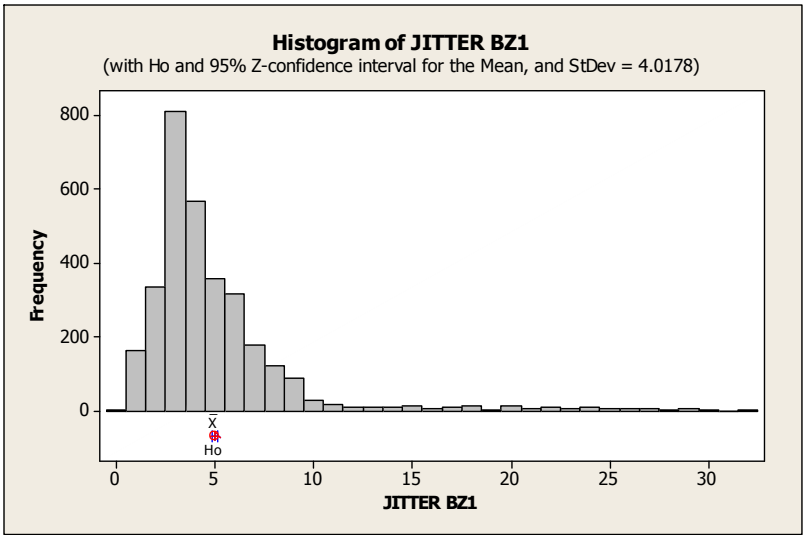


Figura 4.86: Histograma de frecuencias para el jitter de BATMAN en la zona 1

One-Sample Z: JITTER BZ1

```
Test of mu = 4.9808 vs not = 4.9808
The assumed standard deviation = 4.0178

Variable       N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
JITTER BZ1  3134  4.98075  4.01775  0.07177  (4.84009; 5.12142)  -0.00  0.999
```

Figura 4.87: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de BATMAN en la zona 1

Ancho De Banda:

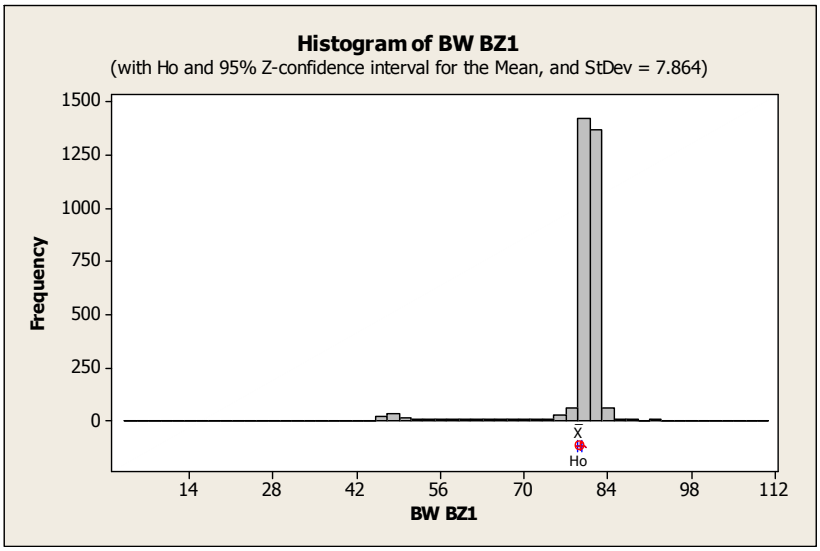


Figura 4.88: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de BATMAN en la zona 1

One-Sample Z: BW BZ1

```
Test of mu = 79.316 vs not = 79.316
The assumed standard deviation = 7.864

Variable     N     Mean   StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
BW BZ1    3134  79.3159  7.8640   0.1405  (79.0406; 79.5912)  -0.00  0.999
```

Figura 4.89: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de BATMAN en la zona 1

ROOFNET

Descriptive Statistics: RETARDO RZ1; JITTER RZ1; BW RZ1

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
RETARDO RZ1	3805	0	20.110	0.178	10.973	0.000000000	16.115	19.960
JITTER RZ1	3805	0	5.7125	0.0367	2.2637	0.4300	4.2450	5.3700
BW RZ1	3805	0	79.963	0.0993	6.127	3.200	80.000	80.000

Variable	Q3	Maximum
RETARDO RZ1	23.820	494.260
JITTER RZ1	6.7600	36.6700
BW RZ1	81.600	84.800

Figura 4.90: Información de estadística descriptiva para ROOFNET en la zona 1

Retardo:

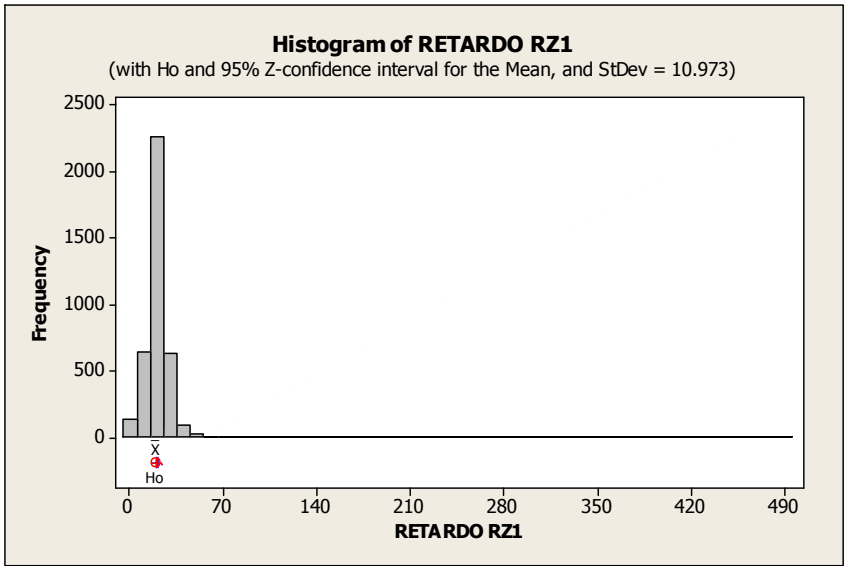


Figura 4.91: Histograma de frecuencias para el retardo de ROOFNET en la zona 1

One-Sample Z: RETARDO RZ1

```
Test of mu = 20.11 vs not = 20.11
The assumed standard deviation = 10.973

Variable        N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
RETARDO RZ1  3805  20.1095  10.9732   0.1779  (19.7609; 20.4582)  -0.00  0.998
```

Figura 4.92: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de ROOFNET en la zona 1

Jitter:

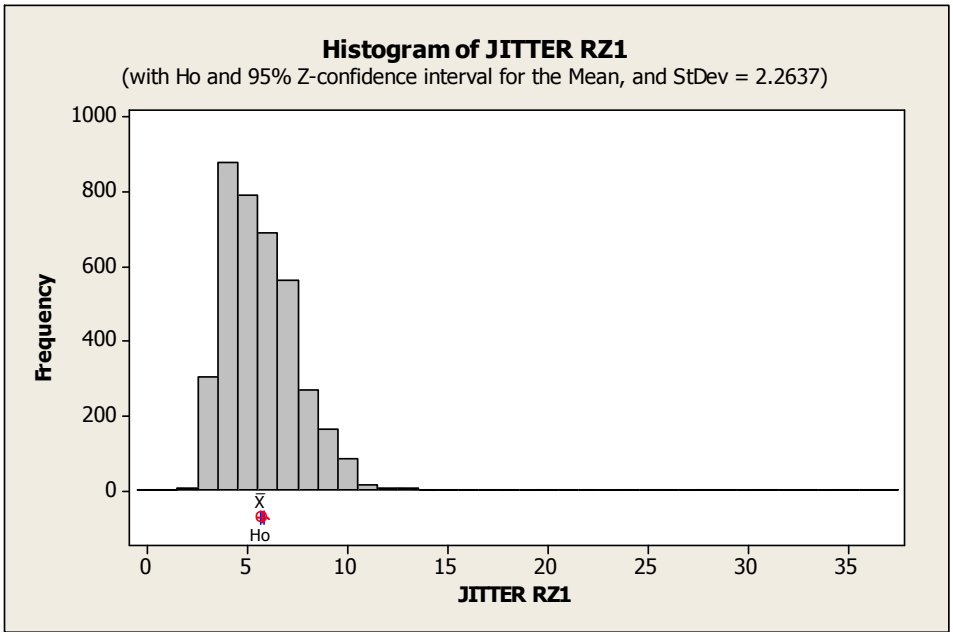


Figura 4.93: Histograma de frecuencias para el jitter de ROOFNET en la zona 1

One-Sample Z: JITTER RZ1

```
Test of mu = 5.7125 vs not = 5.7125
The assumed standard deviation = 2.2637

Variable       N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
JITTER RZ1  3805  5.71248  2.26374  0.03670  (5.64055; 5.78441)  -0.00  1.000
```

Figura 4.94: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de ROOFNET en la zona 1

Ancho De Banda:

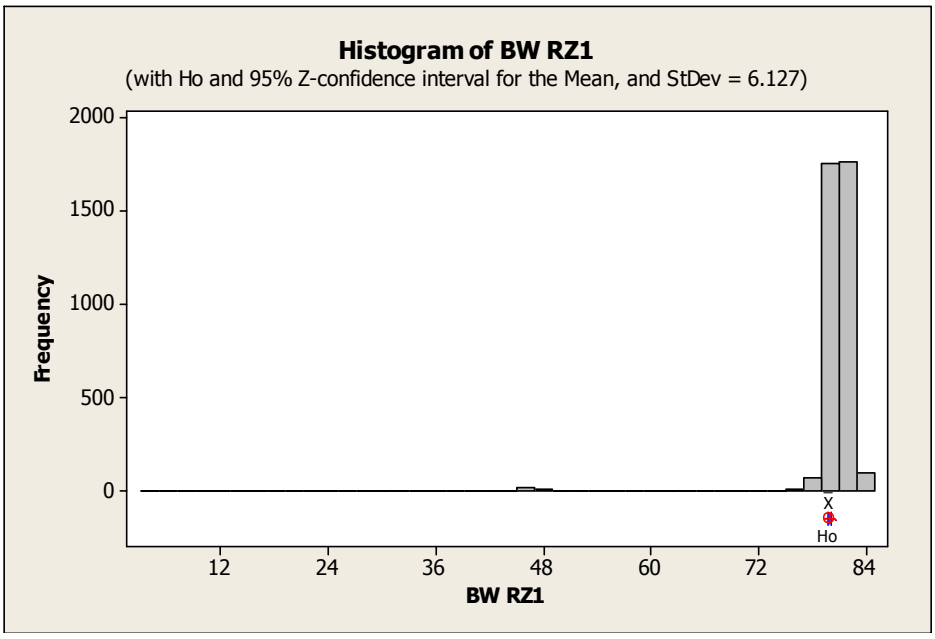


Figura 4.95: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de ROOFNET en la zona 1

One-Sample Z: BW RZ1

```
Test of mu = 79.963 vs not = 79.963
The assumed standard deviation = 6.127

Variable     N     Mean   StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
BW RZ1    3805  79.9634  6.1271   0.0993  (79.7687; 80.1581)   0.00  0.997
```

Figura 4.96: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de ROOFNET en la zona 1

WING

Descriptive Statistics: RETARDO WZ1; JITTER WZ1; BW WZ1

```
Variable        N  N*    Mean  SE Mean   StDev      Minimum      Q1  Median
RETARDO WZ1  3021   0  20.566    0.516  28.363  0.000000000   5.490  19.290
JITTER WZ1   3021   0  12.429    0.101   5.568        1.230   8.685  11.300
BW WZ1       3021   0  78.247    0.185  10.145        3.200  78.400  80.000

Variable        Q3  Maximum
RETARDO WZ1  24.110  779.540
JITTER WZ1   14.730   52.780
BW WZ1       81.600  129.600
```

Figura 4.97: Información de estadística descriptiva para WING en la zona 1

Retardo:

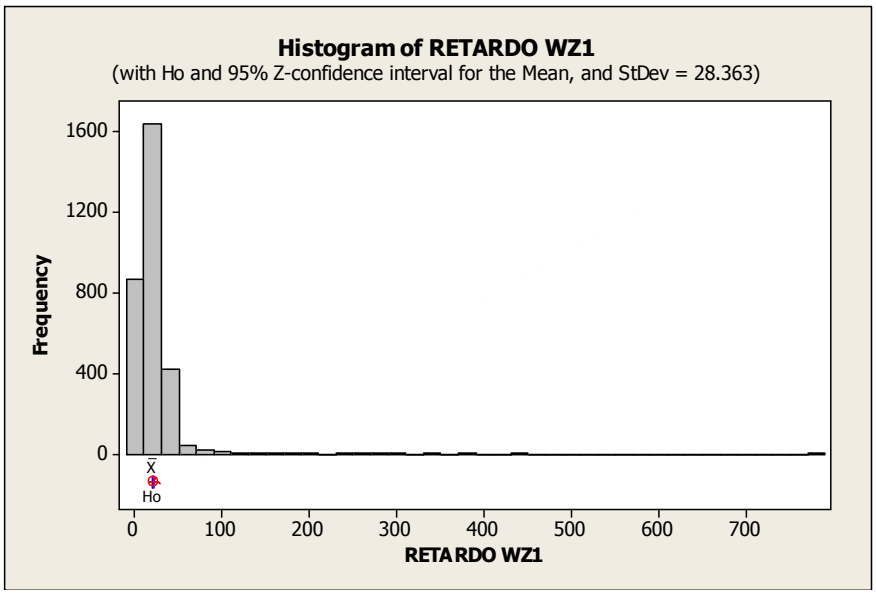


Figura 4.98: Histograma de frecuencias para el retardo de WING en la zona 1

One-Sample Z: RETARDO WZ1

```
Test of mu = 20.566 vs not = 20.566
The assumed standard deviation = 28.363

Variable        N     Mean    StDev  SE Mean        95% CI            Z      P
RETARDO WZ1  3021  20.5657  28.3633   0.5160  (19.5543; 21.5771)  -0.00  1.000
```

Figura 4.99: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de WING en la zona 1

Jitter:

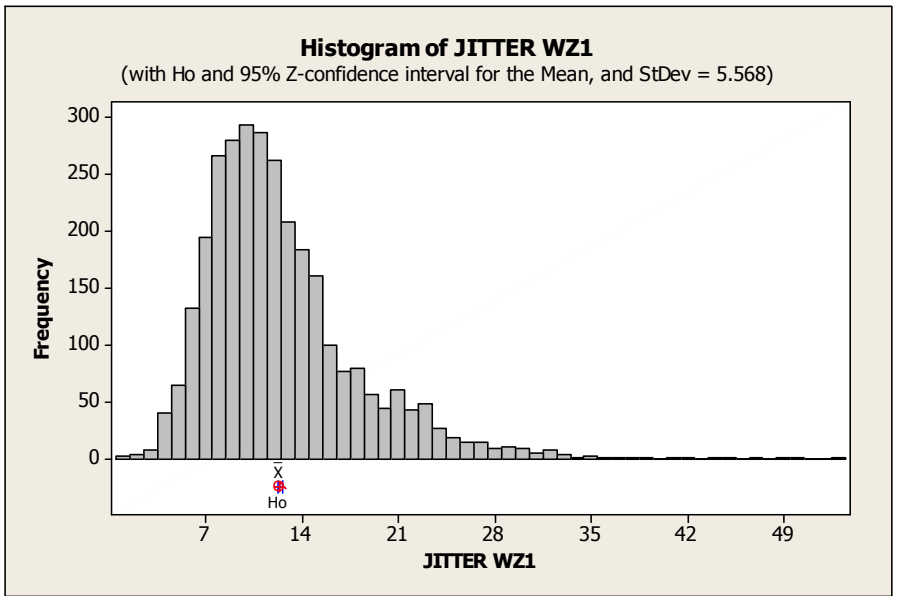


Figura 4.100: Histograma de frecuencias para el jitter de WING en la zona 1

One-Sample Z: JITTER WZ1

Test of mu = 12.429 vs not = 12.429
The assumed standard deviation = 5.568

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	Z	P
JITTER WZ1	3021	12.4290	5.5684	0.1013	(12.2304; 12.6275)	-0.00	1.000

Figura 4.101: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de WING en la zona 1

Ancho De Banda:

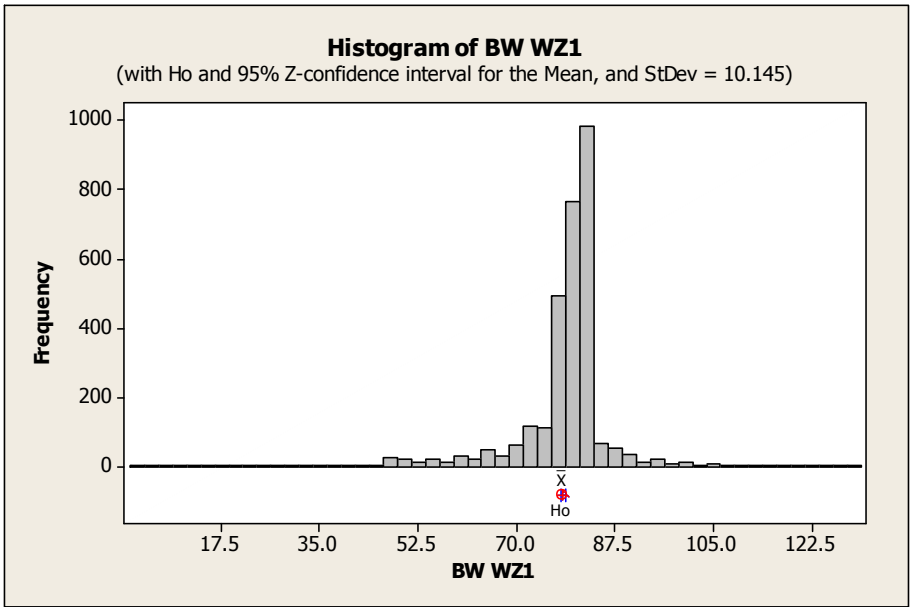


Figura 4.102: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de WING en la zona 1

One-Sample Z: BW WZ1

```
Test of mu = 78.247 vs not = 78.247
The assumed standard deviation = 10.145

Variable     N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
BW WZ1    3021  78.2469  10.1452   0.1846  (77.8852; 78.6087)  -0.00  1.000
```

Figura 4.103: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de WING en la zona 1

b. Zona 2:

OLSR

Descriptive Statistics: RETARDO OZ2; JITTER OZ2; BW OZ2

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
RETARDO OZ2	3131	0	20.990	0.549	30.704	0.0300	8.280	18.810	24.610	514.230
JITTER OZ2	3131	0	12.294	0.116	6.513	0.490	7.720	10.320	15.300	48.120
BW OZ2	3131	0	77.935	0.198	11.068	3.200	78.400	80.000	81.600	110.400

Figura 4.104: Información de estadística descriptiva para OLSR en la zona 2

Retardo:

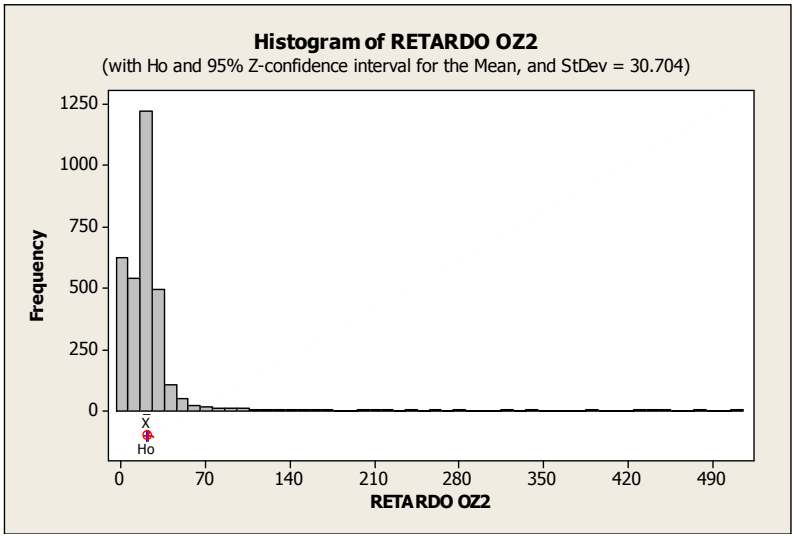


Figura 4.105: Histograma de frecuencias para el retardo de OLSR en la zona 2

One-Sample Z: RETARDO OZ2

```
Test of mu = 20.99 vs not = 20.99
The assumed standard deviation = 30.704

Variable        N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
RETARDO OZ2  3131  20.9904  30.7041   0.5487  (19.9149; 22.0658)  0.00  0.999
```

Figura 4.106: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de OLSR en la zona 2

Jitter:

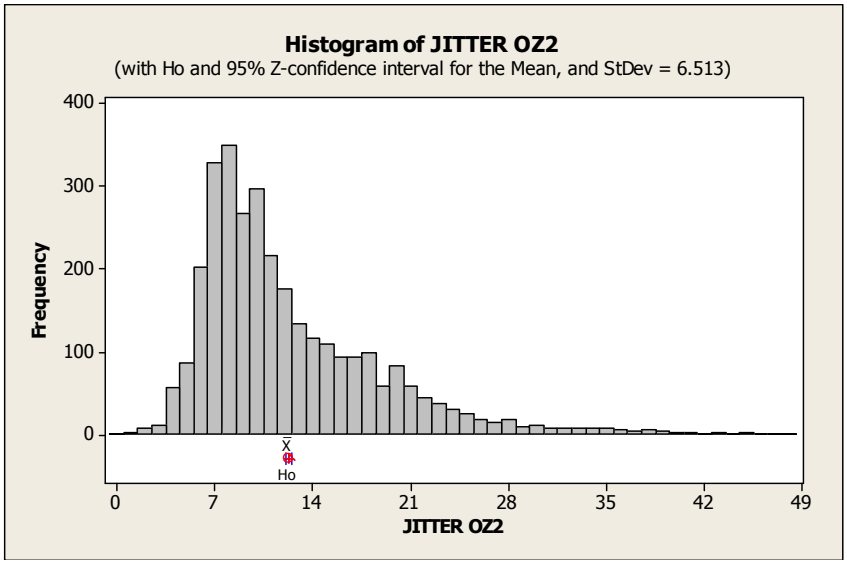


Figura 4.107: Histograma de frecuencias para el jitter de OLSR en la zona 2

One-Sample Z: JITTER OZ2

```
Test of mu = 12.294 vs not = 12.294
The assumed standard deviation = 6.513

Variable       N     Mean   StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
JITTER OZ2  3131  12.2936  6.5127   0.1164  (12.0655; 12.5218)  -0.00  0.998
```

Figura 4.108: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de OLSR en la zona 2

Ancho De Banda:

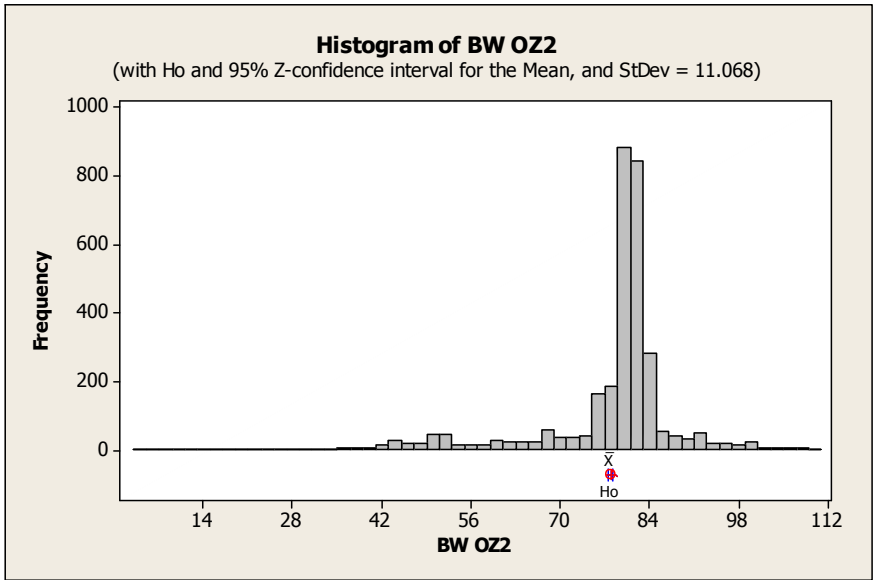


Figura 4.109: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de OLSR en la zona 2

One-Sample Z: BW OZ2

```
Test of mu = 77.935 vs not = 77.935
The assumed standard deviation = 11.068

Variable     N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
BW OZ2    3131  77.9350  11.0683   0.1978  (77.5473; 78.3227)   -0.00  1.000
```

Figura 4.110: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de OLSR en la zona 2

BATMAN

Descriptive Statistics: RETARDO BZ2; JITTER BZ2; BW BZ2

```
Variable        N  N*    Mean  SE Mean   StDev      Minimum       Q1  Median
RETARDO BZ2  3045   0  20.221    0.782  43.158  0.000000000    2.485   8.340
JITTER BZ2   3045   0  19.288    0.210  11.574        1.250   12.850  18.410
BW BZ2       3045   0  85.855    0.562  31.021        3.200   75.200  80.000

Variable         Q3  Maximum
RETARDO BZ2  21.055  857.970
JITTER BZ2   23.370  132.470
BW BZ2       89.600  227.200
```

Figura 4.111: Información de estadística descriptiva para BATMAN en la zona 2

Retardo:

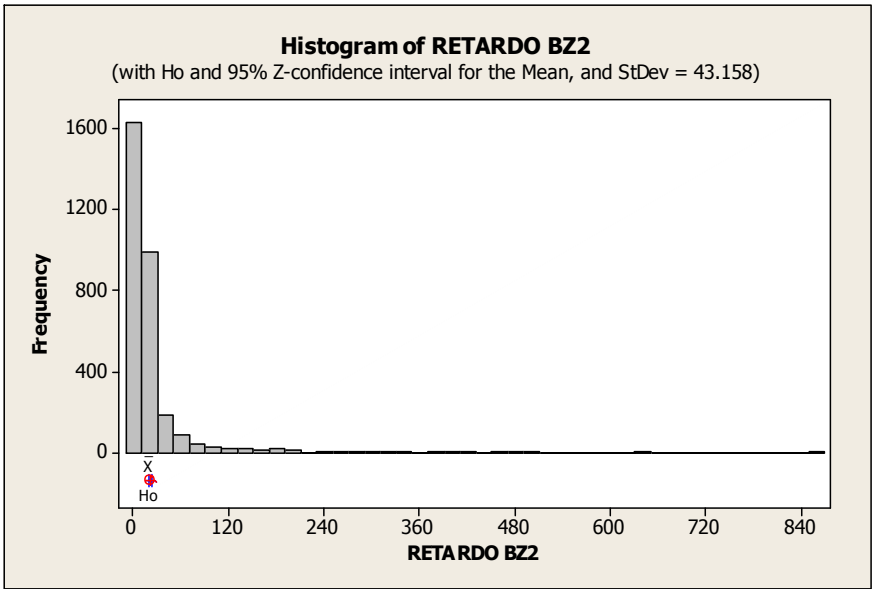


Figura 4.112: Histograma de frecuencias para el retardo de BATMAN en la zona 2

One-Sample Z: RETARDO BZ2

```
Test of mu = 20.221 vs not = 20.221
The assumed standard deviation = 43.158

Variable        N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
RETARDO BZ2  3045  20.2205  43.1583   0.7821  (18.6876; 21.7534)  -0.00  0.999
```

Figura 4.113: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de BATMAN en la zona 2

Jitter:

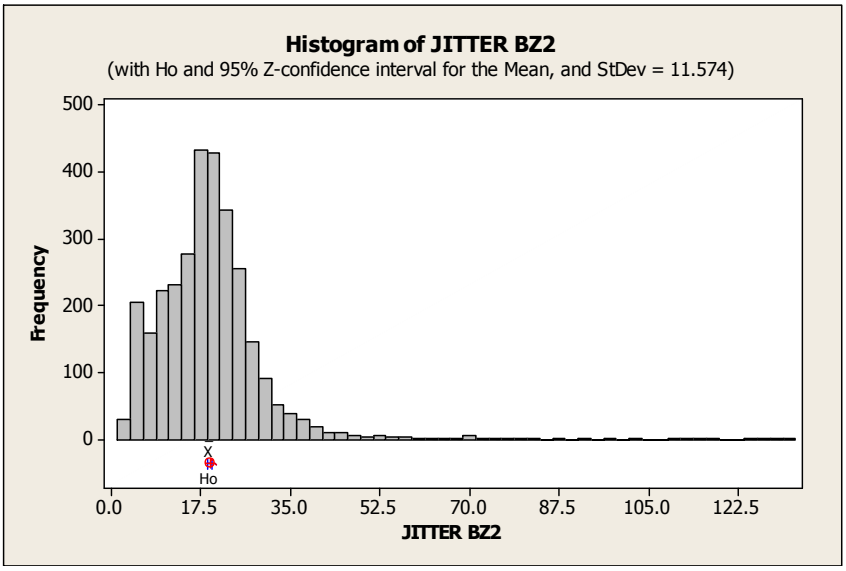


Figura 4.114: Histograma de frecuencias para el jitter de BATMAN en la zona 2

One-Sample Z: JITTER BZ2

```
Test of mu = 19.288 vs not = 19.288
The assumed standard deviation = 11.574

Variable       N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
JITTER BZ2  3045  19.2885  11.5743   0.2097  (18.8774; 19.6995)  0.00  0.998
```

Figura 4.115: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de BATMAN en la zona 2

Ancho De Banda:

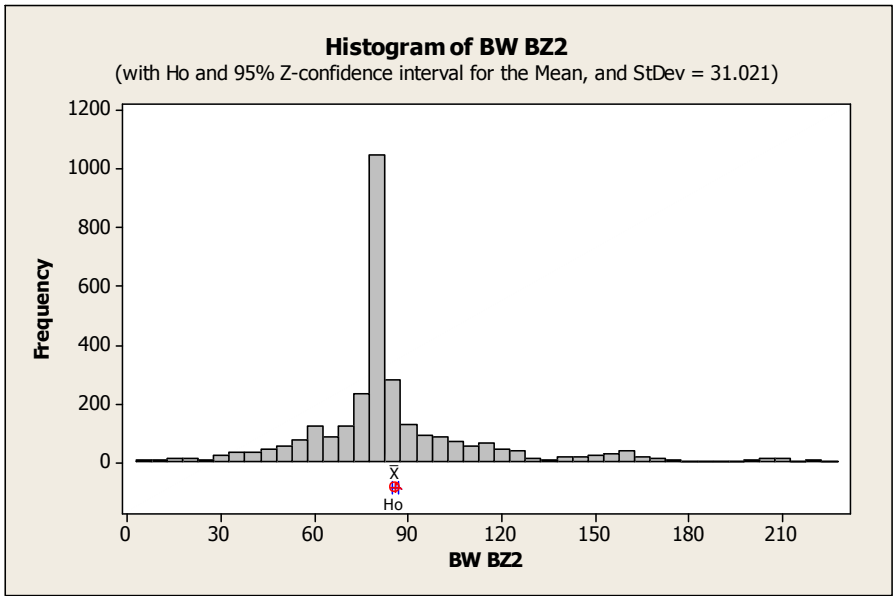


Figura 4.116: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de BATMAN en la zona 2

One-Sample Z: BW BZ2

```
Test of mu = 85.855 vs not = 85.855
The assumed standard deviation = 31.021


Variable     N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
BW BZ2    3045  85.8546  31.0205   0.5622  (84.7528; 86.9564)  -0.00  0.999
```

Figura 4.117: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de BATMAN en la zona 2

ROOFNET

Descriptive Statistics: RETARDO RZ2; JITTER RZ2; BW RZ2

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
RETARDO RZ2	2942	0	20.76	1.42	76.83	0.000000000	7.09	17.03
JITTER RZ2	2942	0	13.592	0.285	15.461	0.580	7.860	10.610
BW RZ2	2942	0	89.623	0.912	49.458	1.600	78.400	80.000

Variable	Q3	Maximum
RETARDO RZ2	24.11	3588.68
JITTER RZ2	15.525	273.310
BW RZ2	83.200	371.200

Figura 4.118: Información de estadística descriptiva para ROOFNET en la zona 2

Retardo:

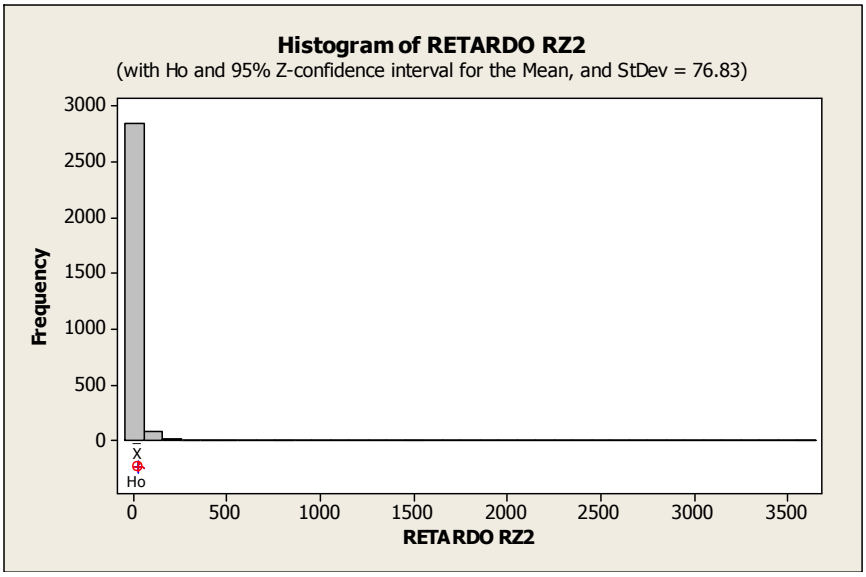


Figura 4.119: Histograma de frecuencias para el retardo de ROOFNET en la zona 2

One-Sample Z: RETARDO RZ2

```
Test of mu = 20.76 vs not = 20.76
The assumed standard deviation = 76.83

Variable        N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z
RETARDO RZ2  2942  20.7568  76.8271   1.4165  (17.9805; 23.5330)  -0.00  0.9
```

Figura 4.120: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de ROOFNET en la zona 2

Jitter:

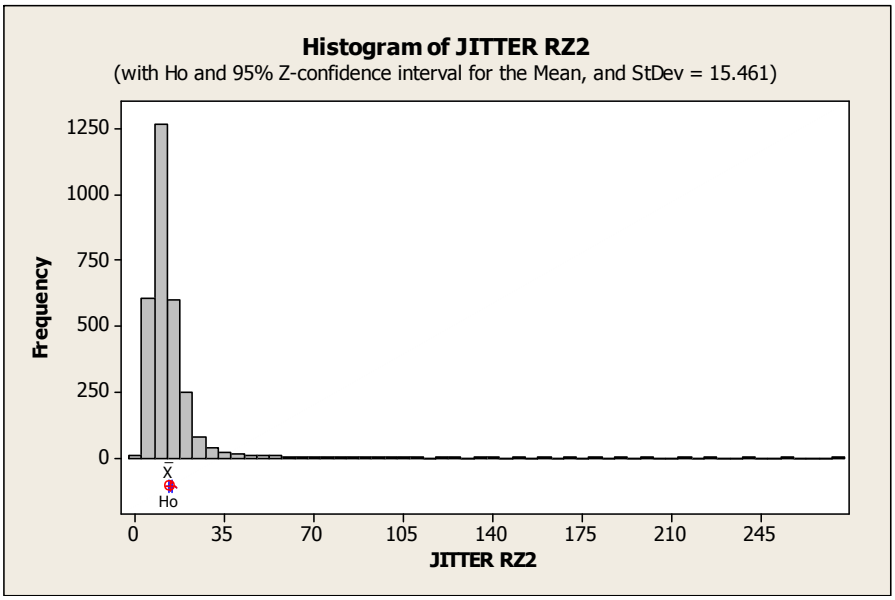


Figura 4.121: Histograma de frecuencias para el jitter de ROOFNET en la zona 2

One-Sample Z: JITTER RZ2

Test of mu = 13.592 vs not = 13.592
The assumed standard deviation = 15.461

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	Z	P
JITTER RZ2	2942	13.5923	15.4609	0.2850	(13.0336; 14.1509)	0.00	0.999

Figura 4.122: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de ROOFNET en la zona 2

Ancho De Banda:

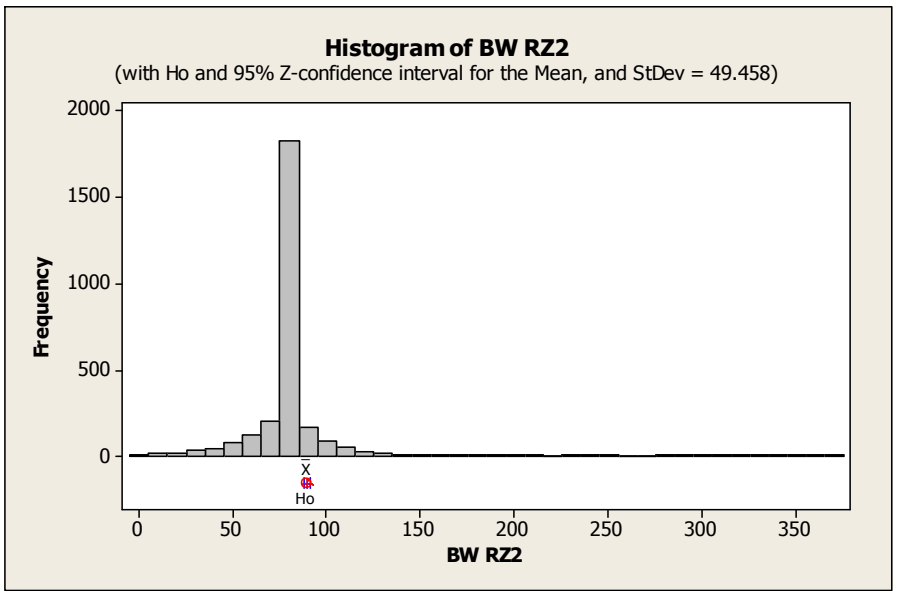


Figura 4.123: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de ROOFNET en la zona 2

One-Sample Z: BW RZ2

```
Test of mu = 89.623 vs not = 89.623
The assumed standard deviation = 49.458

Variable     N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI           Z
BW RZ2    2942  89.6234  49.4580   0.9118  (87.8362; 91.4105)  0.00  1.(
```

Figura 4.124: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de ROOFNET en la zona 2

WING

Descriptive Statistics: RETARDO WZ2; JITTER WZ2; BW WZ2

```
Variable        N  N*    Mean  SE Mean   StDev      Minimum      Q1  Median
RETARDO WZ2  3154   0   20.31   0.955   53.62  0.000000000   0.828   16.58
JITTER WZ2   3154   0  15.898   0.201  11.268        0.810  10.745  14.010
BW WZ2       3154   0  86.551   0.705  39.610        1.600  78.400  80.000

Variable         Q3  Maximum
RETARDO WZ2   25.59  2188.39
JITTER WZ2   18.578  195.030
BW WZ2       83.200  321.600
```

Figura 4.125: Información de estadística descriptiva para WING en la zona 2

Retardo:

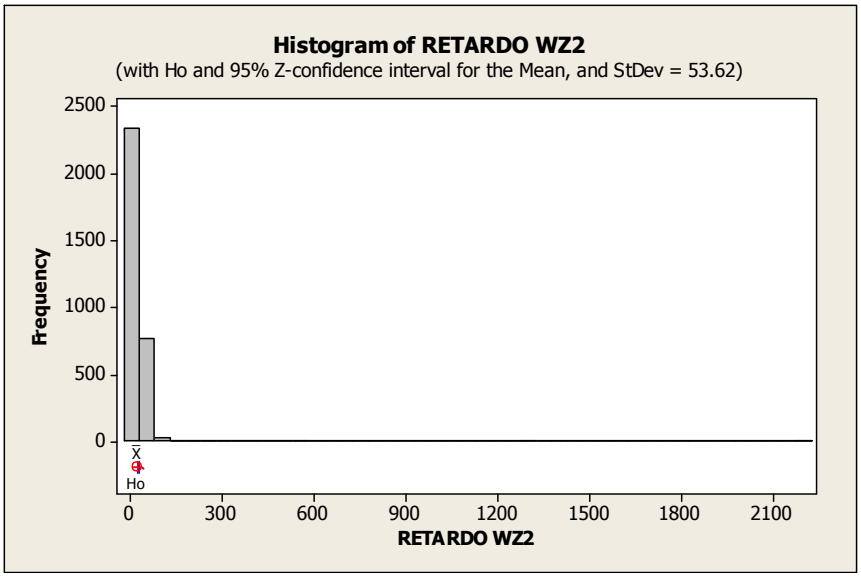


Figura 4.126: Histograma de frecuencias para el retardo de WING en la zona 2

One-Sample Z: RETARDO WZ2

```
Test of mu = 20.31 vs not = 20.31
The assumed standard deviation = 53.62


Variable        N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
RETARDO WZ2  3154  20.3135  53.6234   0.9548  (18.4422; 22.1848)  0.00  0.997
```

Figura 4.127: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de WING en la zona 2

Jitter:

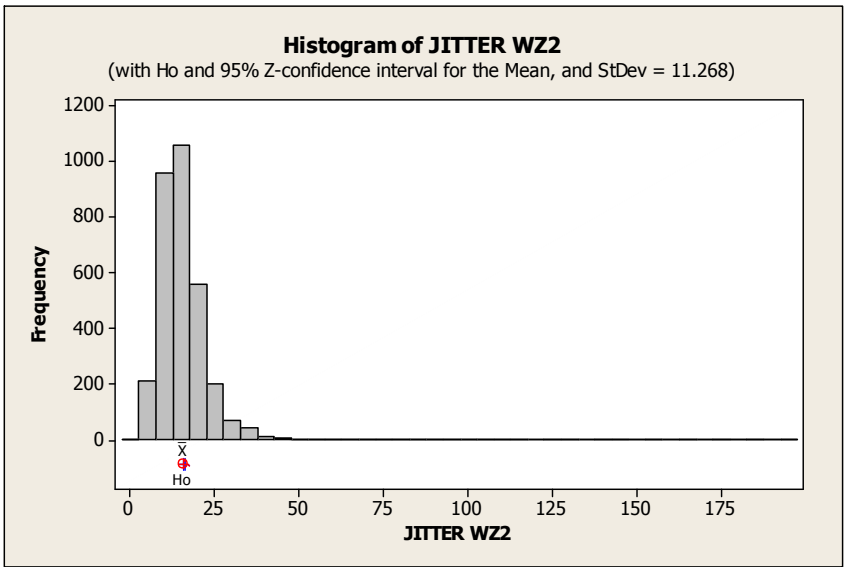


Figura 4.128: Histograma de frecuencias para el jitter de WING en la zona 2

One-Sample Z: JITTER WZ2

```
Test of mu = 15.898 vs not = 15.898
The assumed standard deviation = 11.268

Variable       N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
JITTER WZ2  3154  15.8984  11.2685   0.2006  (15.5051; 16.2916)  0.00  0.999
```

Figura 4.129: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de WING en la zona 2

Ancho de Banda:

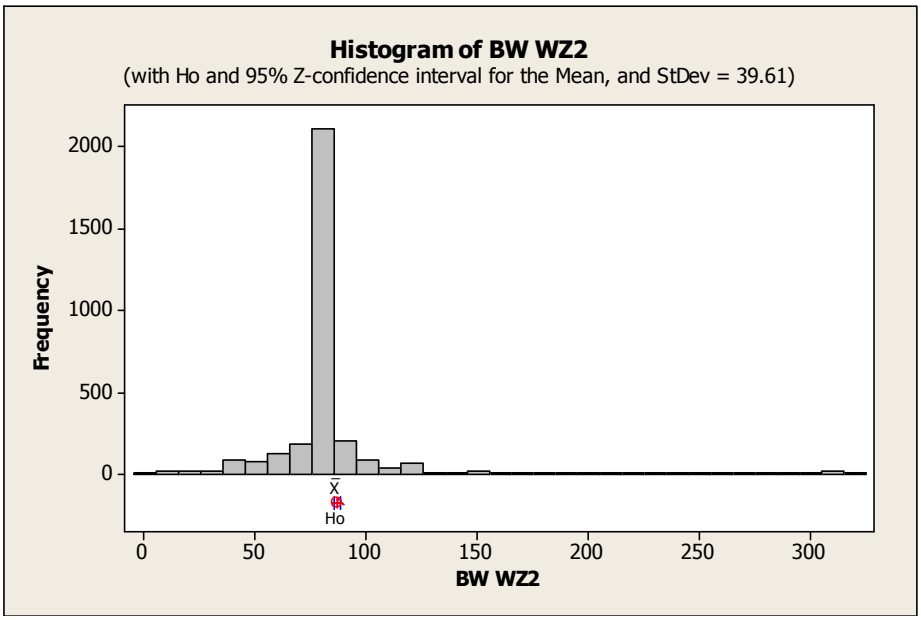


Figura 4.130: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de WING en la zona 2

One-Sample Z: BW WZ2

```
Test of mu = 86.551 vs not = 86.551
The assumed standard deviation = 39.61

Variable     N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
BW WZ2    3154  86.5507  39.6101   0.7053  (85.1683; 87.9330)  -0.00  1.000
```

Figura 4.131: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de WING en la zona 2

c. Zona 3:

OLSR

Descriptive Statistics: RETARDO BZ3; JITTER BZ3; BW BZ3

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
RETARDO BZ3	3012	0	20.124	0.215	11.775	0.000000000	17.563	20.010
JITTER BZ3	3012	0	5.3705	0.0722	3.9612	0.4400	2.8100	4.3500
BW BZ3	3012	0	79.788	0.123	6.723	3.200	80.000	80.000

Variable	Q3	Maximum
RETARDO BZ3	22.838	410.090
JITTER BZ3	6.4100	29.4900
BW BZ3	81.600	96.000

Figura 4.132: Información de estadística descriptiva para OLSR en la zona 3

Retardo:

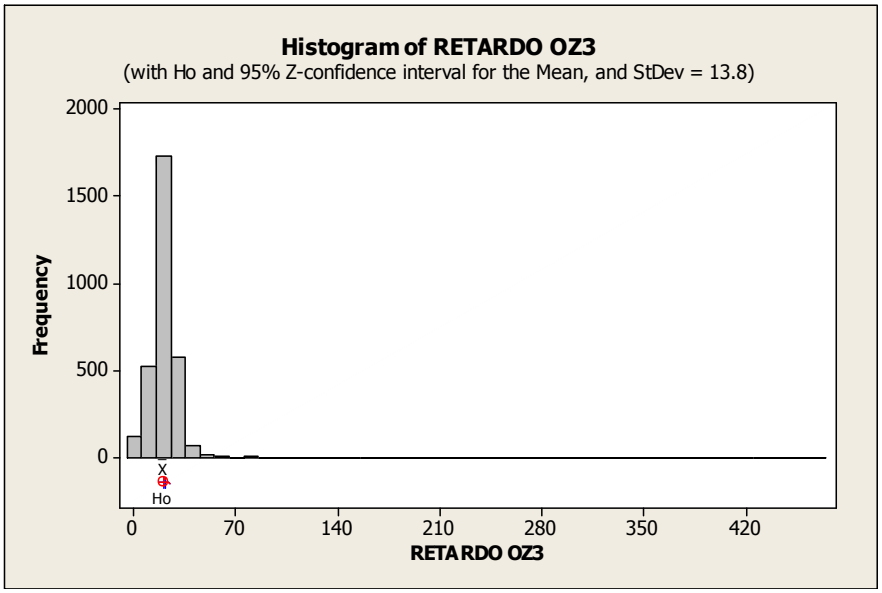


Figura 4.133: Histograma de frecuencias para el retardo de OLSR en la zona 3

One-Sample Z: RETARDO OZ3

```
Test of mu = 20.283 vs not = 20.283
The assumed standard deviation = 13.8

Variable        N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z
RETARDO OZ3  3038  20.2826  13.7996   0.2504  (19.7918; 20.7733)  -0.00  0.
```

Figura 4.134: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de OLSR en la zona 3

Jitter:

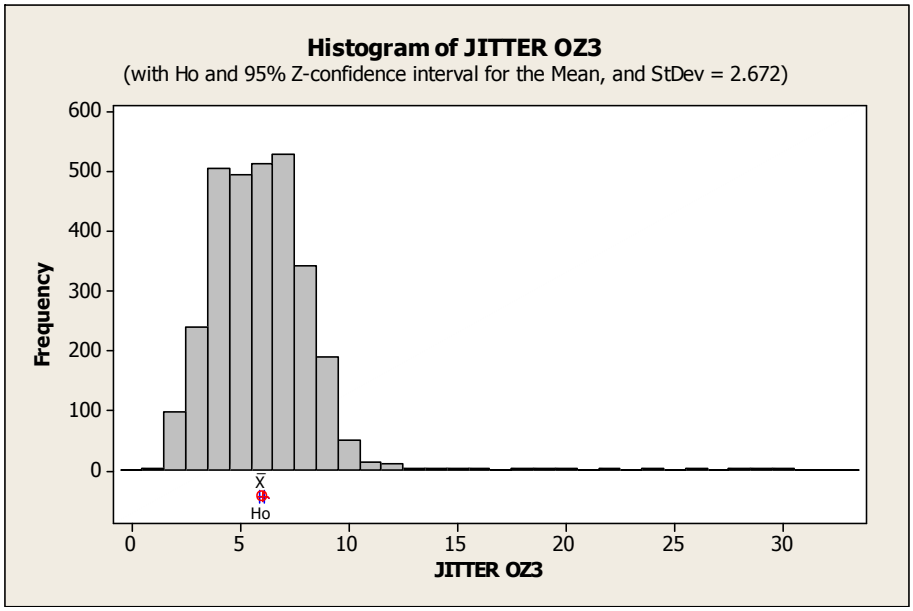


Figura 4.135: Histograma de frecuencias para el jitter de OLSR en la zona 3

One-Sample Z: JITTER OZ3

```
Test of mu = 6.0134 vs not = 6.0134
The assumed standard deviation = 2.672

Variable       N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
JITTER OZ3  3038  6.01342  2.67200  0.04848  (5.91841; 6.10843)  0.00  1.000
```

Figura 4.136: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de OLSR en la zona 3

Ancho de Banda:

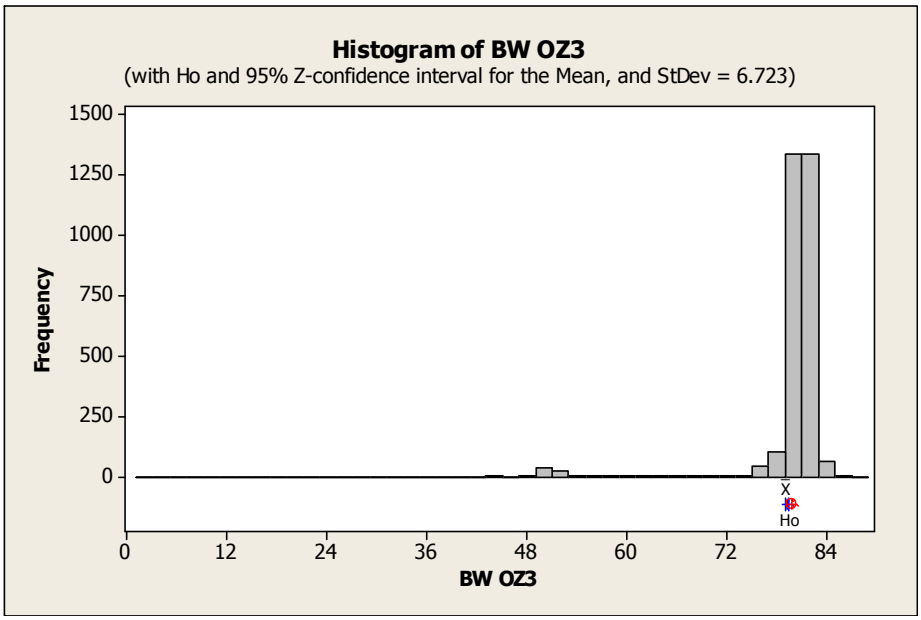


Figura 4.137: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de OLSR en la zona 3

One-Sample Z: BW OZ3

```
Test of mu = 79.788 vs not = 79.788
The assumed standard deviation = 6.723

Variable     N     Mean   StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
BW OZ3    3039  79.2376  7.5707   0.1220  (78.9986; 79.4767)  -4.51  0.000
```

Figura 4.138: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de OLSR en la zona 3

BATMAN

Descriptive Statistics: RETARDO BZ3; JITTER BZ3; BW BZ3

```
Variable        N  N*    Mean  SE Mean   StDev      Minimum      Q1  Median
RETARDO BZ3  3012   0  20.124    0.215  11.775  0.000000000  17.563  20.010
JITTER BZ3   3012   0  5.3705   0.0722  3.9612       0.4400  2.8100  4.3500
BW BZ3       3012   0  79.788    0.123   6.723        3.200  80.000  80.000

Variable        Q3  Maximum
RETARDO BZ3  22.838  410.090
JITTER BZ3   6.4100  29.4900
BW BZ3       81.600   96.000
```

Figura 4.139: Información de estadística descriptiva para BATMAN en la zona 3

Retardo:

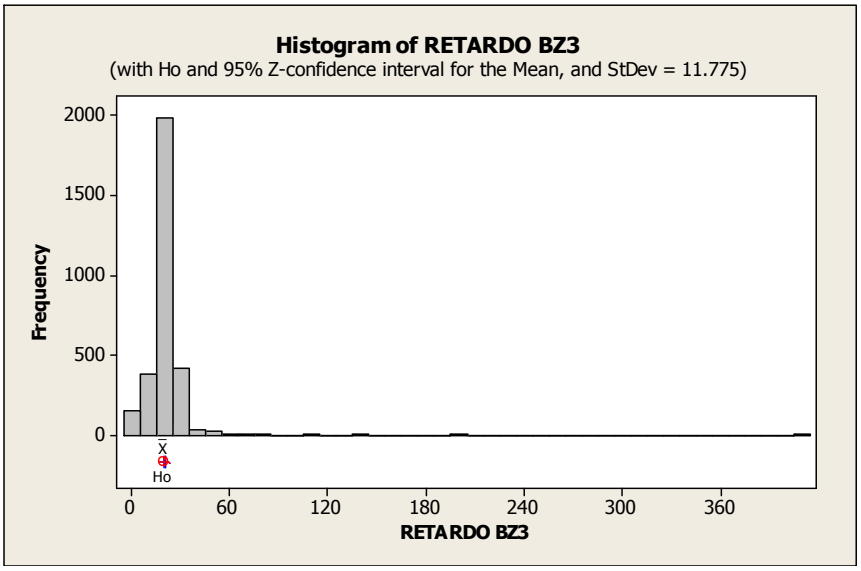


Figura 4.140: Histograma de frecuencias para el retardo de BATMAN en la zona 3

One-Sample Z: RETARDO BZ3

```
Test of mu = 20.124 vs not = 20.124
The assumed standard deviation = 11.775

Variable        N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
RETARDO BZ3  3012  20.1241  11.7753   0.2146  (19.7036; 20.5446)  0.00  1.000
```

Figura 4.141: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de BATMAN en la zona 3

Jitter:

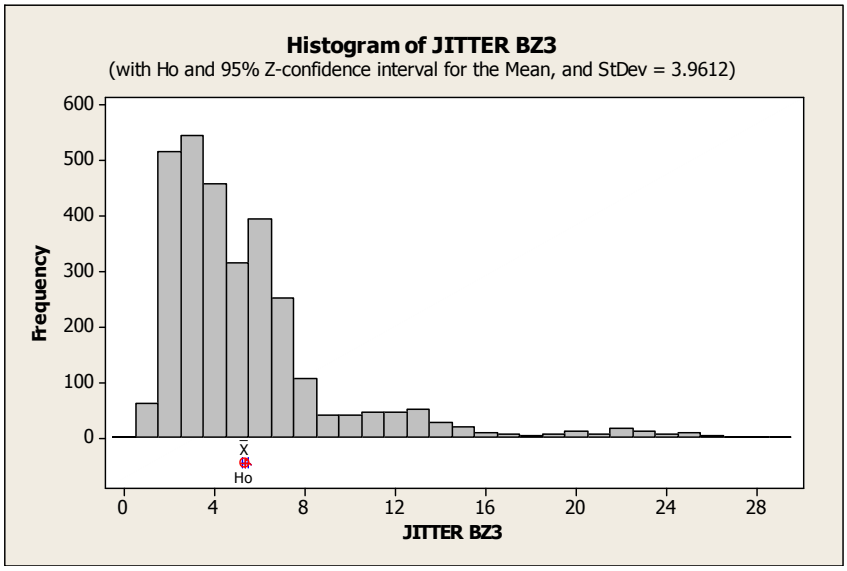


Figura 4.142: Histograma de frecuencias para el jitter de BATMAN en la zona 3

One-Sample Z: JITTER BZ3

```
Test of mu = 5.3705 vs not = 5.3705
The assumed standard deviation = 3.9612

Variable       N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
JITTER BZ3  3012  5.37052  3.96119  0.07218  (5.22906; 5.51199)   0.00  1.000
```

Figura 4.143: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de BATMAN en la zona 3

Ancho de Banda:

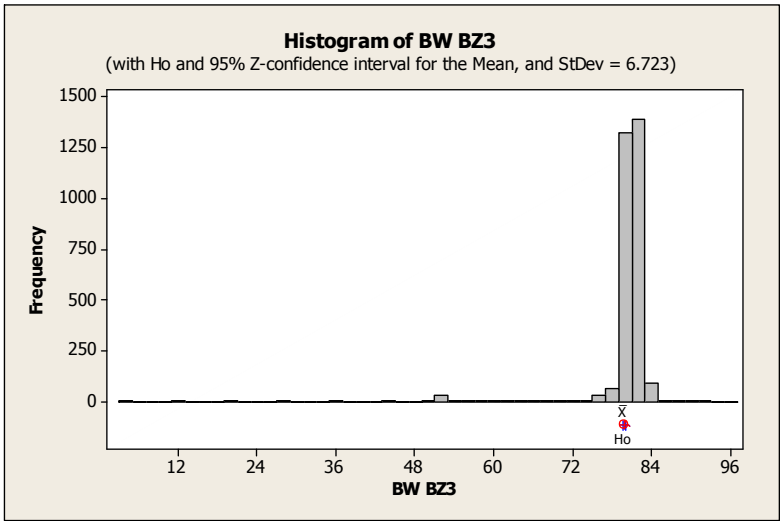


Figura 4.144: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de BATMAN en la zona 3

One-Sample Z: BW BZ3

```
Test of mu = 79.788 vs not = 79.788
The assumed standard deviation = 6.723

Variable     N     Mean   StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
BW BZ3    3012  79.7880  6.7230   0.1225  (79.5480; 80.0281)   0.00  1.000
```

Figura 4.145: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de BATMAN en la zona 3

ROOFNET

Descriptive Statistics: RETARDO RZ3; JITTER RZ3; BW RZ3

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
RETARDO RZ3	3024	0	19.998	0.132	7.275	0.000000000	17.453	20.050
JITTER RZ3	3024	0	4.9118	0.0236	1.2982	0.1300	3.9700	4.8000
BW RZ3	3024	0	80.156	0.106	5.808	3.200	80.000	80.000

Variable	Q3	Maximum
RETARDO RZ3	23.095	84.670
JITTER RZ3	5.7475	10.0500
BW RZ3	81.600	84.800

Figura 4.146: Información de estadística descriptiva para ROOFNET en la zona 3

Retardo:

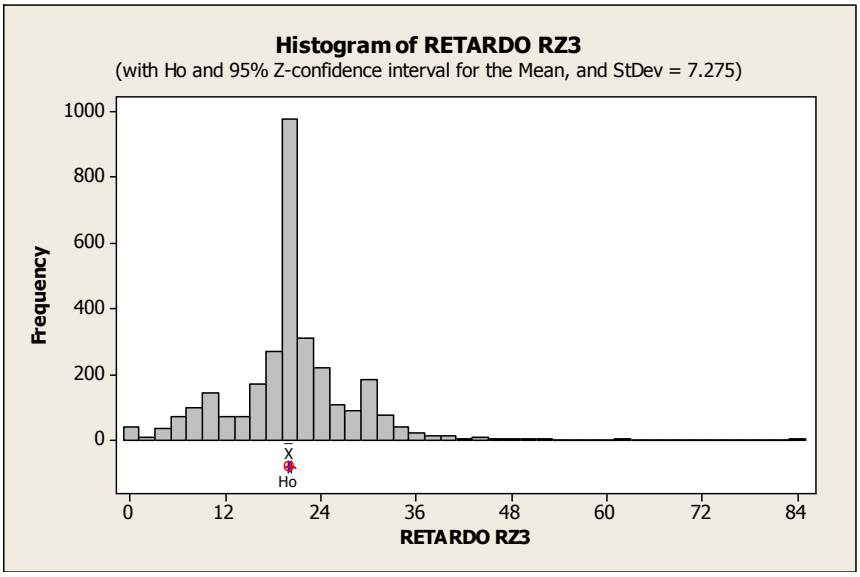


Figura 4.147: Histograma de frecuencias para el retardo de ROOFNET en la zona 3

One-Sample Z: RETARDO RZ3

Test of mu = 19.998 vs not = 19.998
The assumed standard deviation = 7.275

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	Z	P
RETARDO RZ3	3024	19.9977	7.2754	0.1323	(19.7384; 20.2570)	-0.00	0.998

Figura 4.148: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de ROOFNET en la zona 3

Jitter:

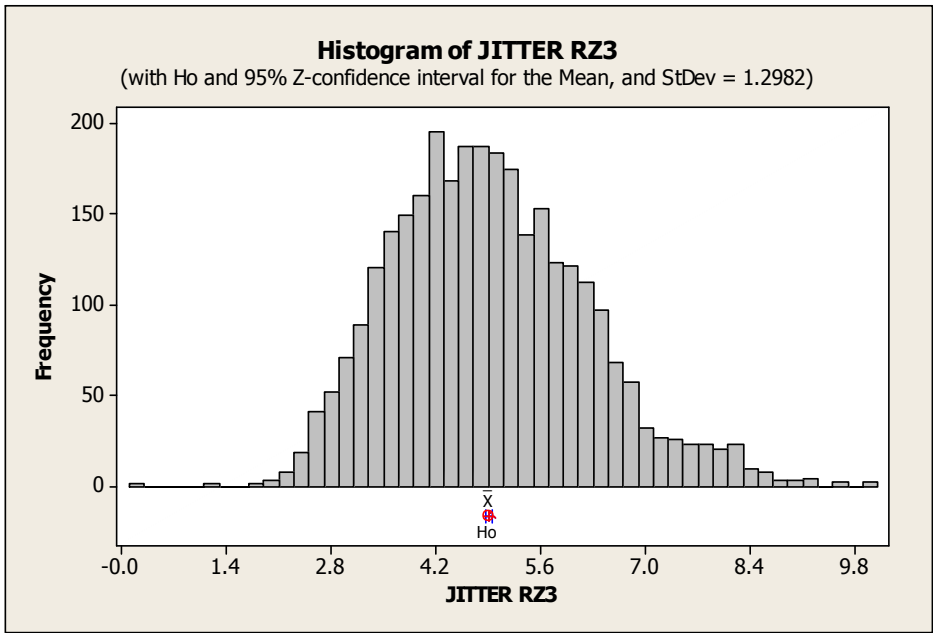


Figura 4.149: Histograma de frecuencias para el jitter de ROOFNET en la zona 3

One-Sample Z: JITTER RZ3

```
Test of mu = 4.9118 vs not = 4.9118
The assumed standard deviation = 1.2982

Variable       N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI          Z      P
JITTER RZ3  3024  4.91182  1.29822  0.02361  (4.86555; 4.95809)  0.00  0.999
```

Figura 4.150: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de ROOFNET en la zona 3

Ancho de Banda:

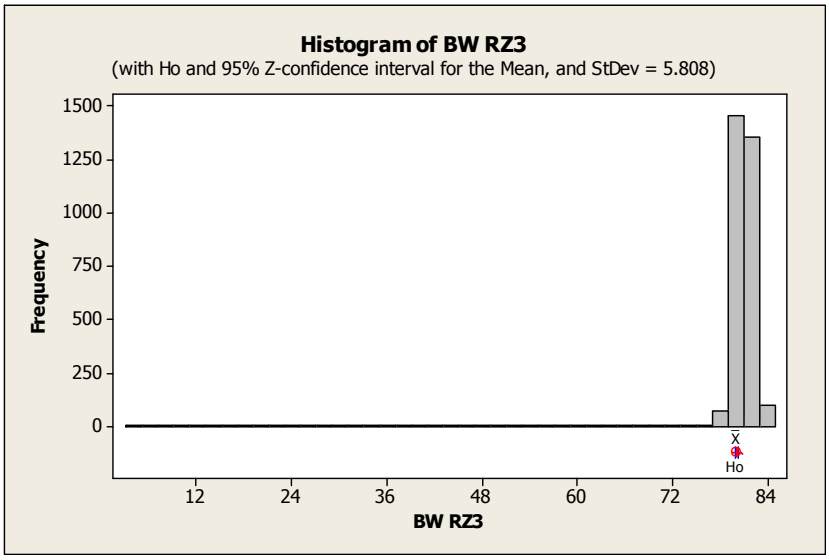


Figura 4.151: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de ROOFNET en la zona 3

One-Sample Z: BW RZ3

```
Test of mu = 80.156 vs not = 80.156
The assumed standard deviation = 5.808

Variable     N     Mean   StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
BW RZ3    3024  80.1556  5.8081   0.1056  (79.9485; 80.3626)  -0.00  0.997
```

Figura 4.152: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de ROOFNET en la zona 3

WING

Descriptive Statistics: RETARDO WZ3; JITTER WZ3; BW WZ3

```
Variable        N  N*    Mean  SE Mean   StDev      Minimum      Q1  Median
RETARDO WZ3  3035   0   20.31     1.09   59.79  0.000000000  0.0100   11.84
JITTER WZ3   3035   0  18.979    0.211  11.612        1.250  12.870  16.480
BW WZ3       3035   0  85.338    0.575  31.690        1.600  76.800  80.000

Variable         Q3  Maximum
RETARDO WZ3   24.51  2050.66
JITTER WZ3   21.470  135.360
BW WZ3       84.800  244.800
```

Figura 4.153: Información de estadística descriptiva para WING en la zona 3

Retardo:

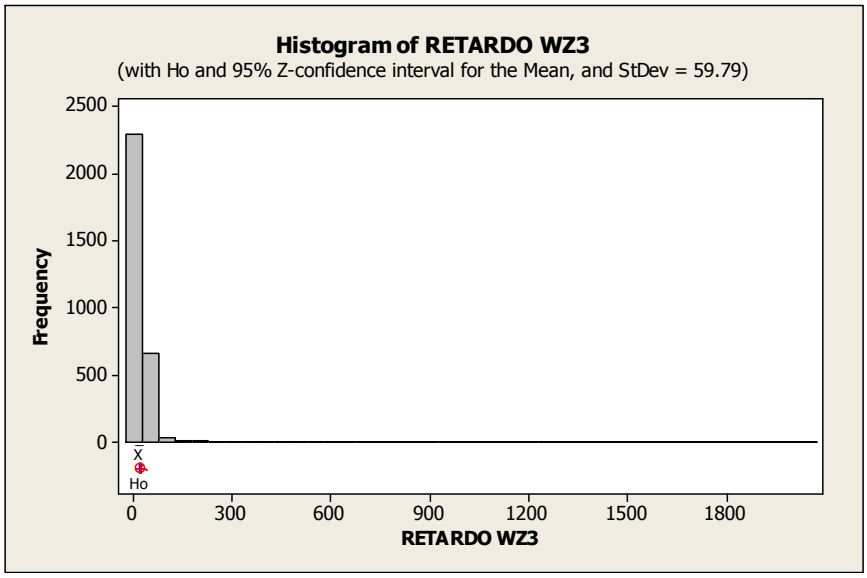


Figura 4.154: Histograma de frecuencias para el retardo de WING en la zona 3

One-Sample Z: RETARDO WZ3

```
Test of mu = 20.31 vs not = 20.31
The assumed standard deviation = 59.79

Variable        N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
RETARDO WZ3  3035  20.3121  59.7862   1.0853  (18.1850; 22.4393)  0.00  0.998
```

Figura 4.155: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de WING en la zona 3

Jitter:

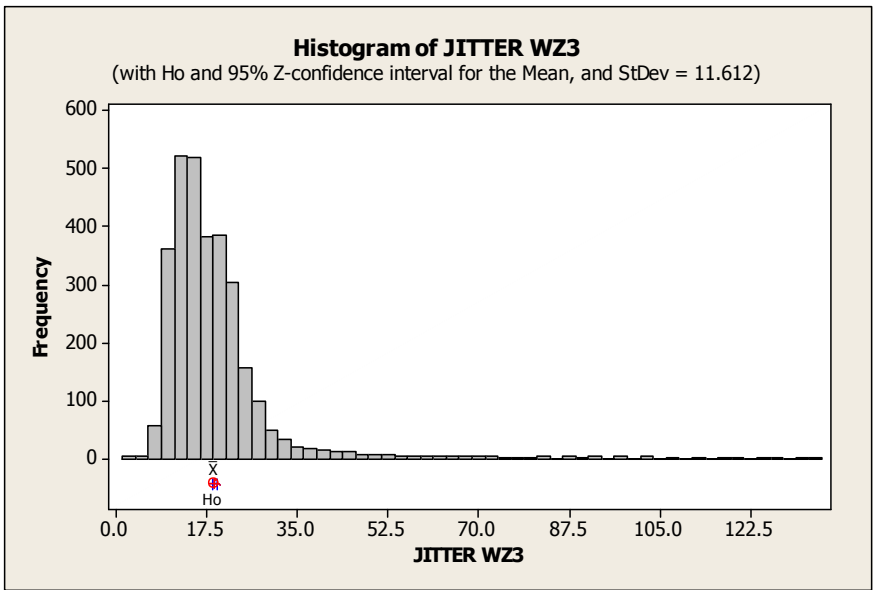


Figura 4.156: Histograma de frecuencias para el jitter de WING en la zona 3

One-Sample Z: JITTER WZ3

Test of mu = 18.979 vs not = 18.979
The assumed standard deviation = 11.612

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	Z	P
JITTER WZ3	3035	18.9786	11.6115	0.2108	(18.5655; 19.3918)	-0.00	0.999

Figura 4.157: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de WING en la zona 3

Ancho de Banda:

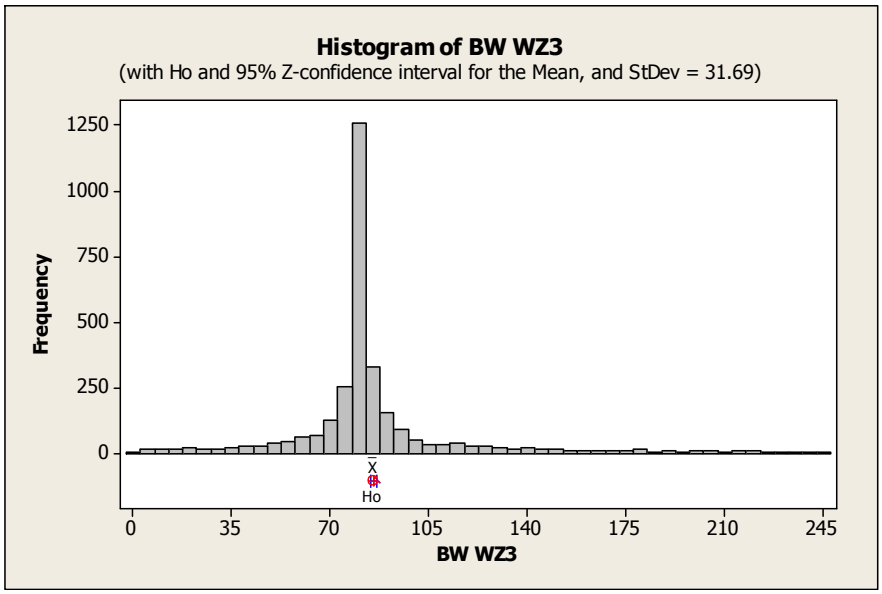


Figura 4.158: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de WING en la zona 3

One-Sample Z: BW WZ3

```
Test of mu = 85.338 vs not = 85.338
The assumed standard deviation = 31.69

Variable     N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
BW WZ3    3035  85.3383  31.6898   0.5752  (84.2108; 86.4657)  0.00  1.000
```

Figura 4.159: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de WING en la zona 3

d. Zona 4:

OLSR

Descriptive Statistics: JITTER OZ4; BW OZ4; RETARDO BZ4

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
JITTER OZ4	3010	0	9.3241	0.0896	4.9182	0.7500	6.0800	7.9700
BW OZ4	3010	0	80.135	0.133	7.308	3.200	80.000	80.000
RETARDO BZ4	3001	0	20.115	0.506	27.744	0.000000000	7.360	18.620

Variable	Q3	Maximum
JITTER OZ4	10.9800	39.9100
BW OZ4	81.600	121.600
RETARDO BZ4	24.550	545.430

Figura 4.160: Información de estadística descriptiva para OLSR en la zona 4

Retardo:

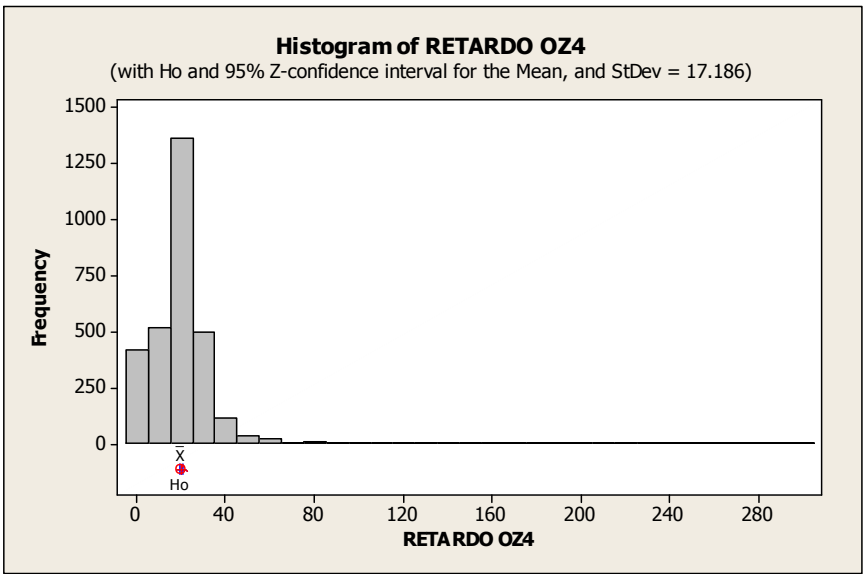


Figura 4.161: Histograma de frecuencias para el retardo de OLSR en la zona 4

One-Sample Z: RETARDO OZ4

```
Test of mu = 20.001 vs not = 20.001
The assumed standard deviation = 17.186

Variable        N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
RETARDO OZ4  3010  20.0008  17.1858   0.3133  (19.3868; 20.6148)  -0.00  0.999
```

Figura 4.162: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de OLSR en la zona 4

Jitter:

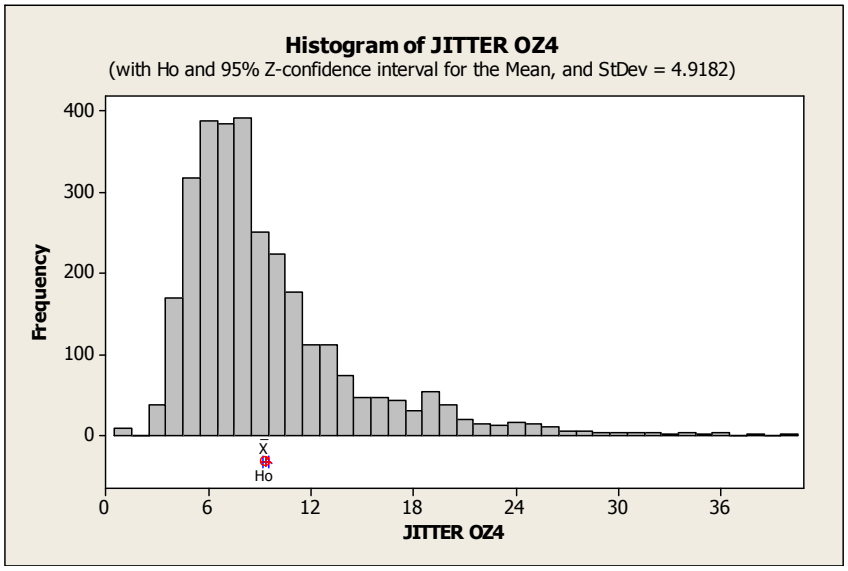


Figura 4.163: Histograma de frecuencias para el jitter de OLSR en la zona 4

One-Sample Z: JITTER OZ4

```
Test of mu = 9.3241 vs not = 9.3241
The assumed standard deviation = 4.9182

Variable       N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
JITTER OZ4  3010  9.32409  4.91822  0.08964  (9.14839; 9.49979)  -0.00  1.000
```

Figura 4.164: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de OLSR en la zona 4

Ancho de Banda:

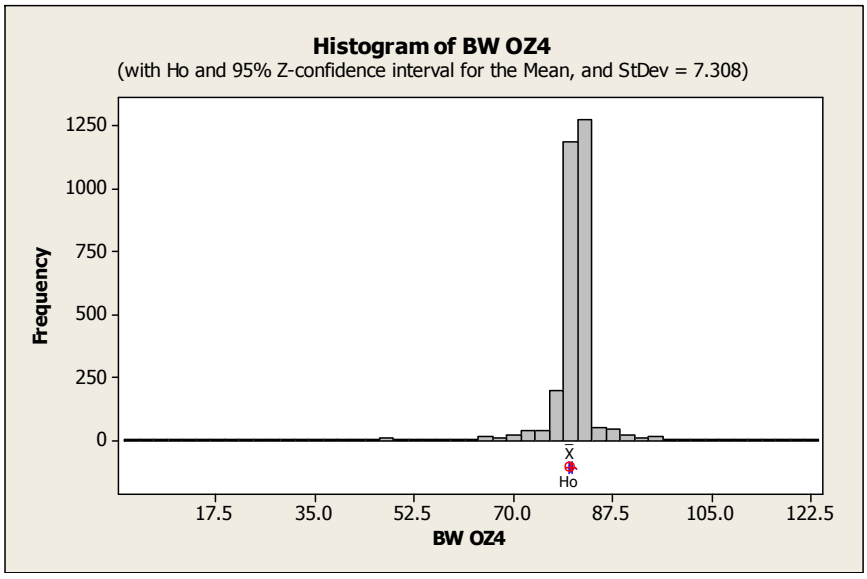


Figura 4.165: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de OLSR en la zona 4

One-Sample Z: BW OZ4

```
Test of mu = 80.135 vs not = 80.135
The assumed standard deviation = 7.308

Variable     N     Mean   StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
BW OZ4    3010  80.1350  7.3079   0.1332  (79.8739; 80.3961)  0.00  1.000
```

Figura 4.166: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de OLSR en la zona 4

BATMAN

Descriptive Statistics: RETARDO BZ4; JITTER BZ4; BW BZ4

```
Variable        N  N*    Mean  SE Mean   StDev      Minimum      Q1  Median
RETARDO BZ4  3001   0  20.115    0.506  27.744  0.000000000   7.360  18.620
JITTER BZ4   3001   0  12.401    0.130   7.114        0.760   7.780  10.450
BW BZ4       3001   0  81.615    0.329  18.010        3.200  80.000  81.600

Variable         Q3  Maximum
RETARDO BZ4  24.550  545.430
JITTER BZ4   15.375   67.130
BW BZ4       81.600  188.800
```

Figura 4.167: Información de estadística descriptiva para BATMAN en la zona 4

Retardo:

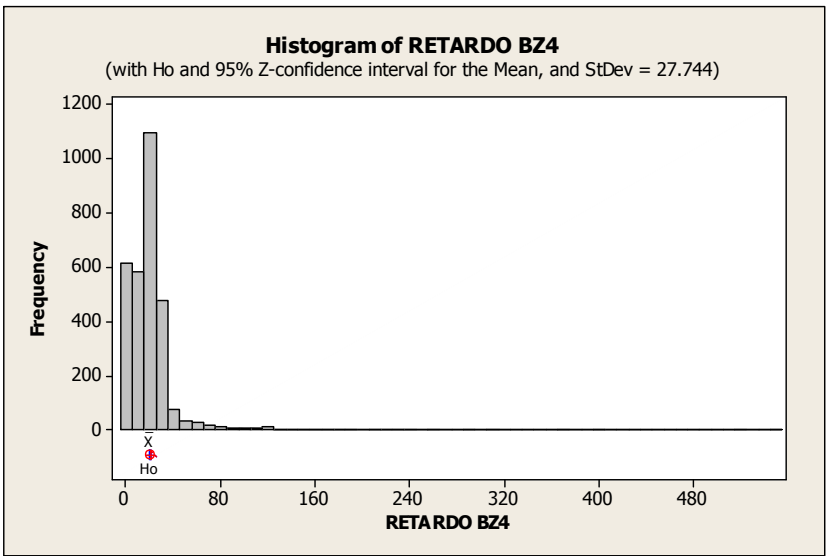


Figura 4.168: Histograma de frecuencias para el retardo de BATMAN en la zona 4

One-Sample Z: RETARDO BZ4

```
Test of mu = 20.115 vs not = 20.115
The assumed standard deviation = 27.744

Variable        N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
RETARDO BZ4  3001  20.1147  27.7437   0.5064  (19.1221; 21.1073)  -0.00  1.000
```

Figura 4.169: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de BATMAN en la zona 4

Jitter:

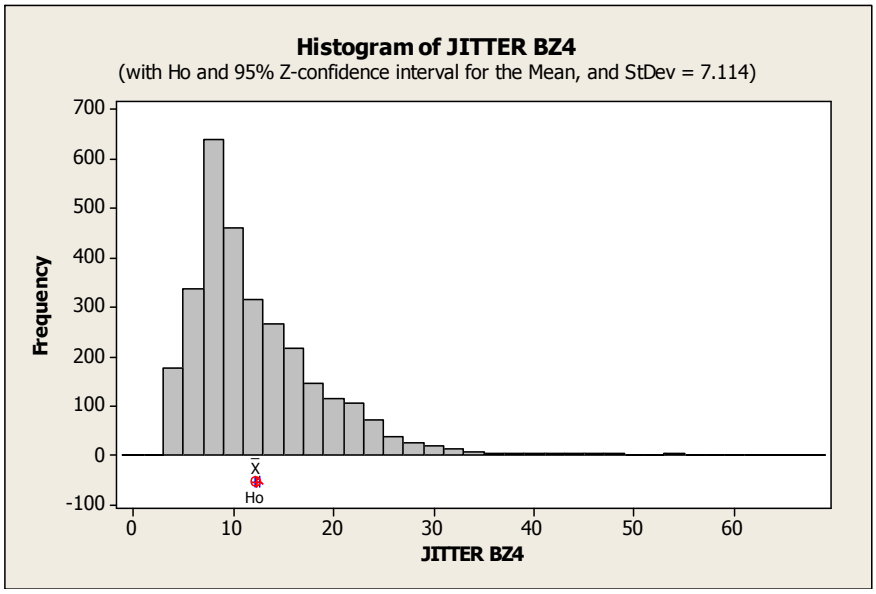


Figura 4.170: Histograma de frecuencias para el jitter de BATMAN en la zona 4

One-Sample Z: JITTER BZ4

```
Test of mu = 12.401 vs not = 12.401
The assumed standard deviation = 7.114

Variable       N     Mean   StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
JITTER BZ4  3001  12.4012  7.1137   0.1299  (12.1467; 12.6557)  0.00  0.999
```

Figura 4.171: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de BATMAN en la zona 4

Ancho de Banda:

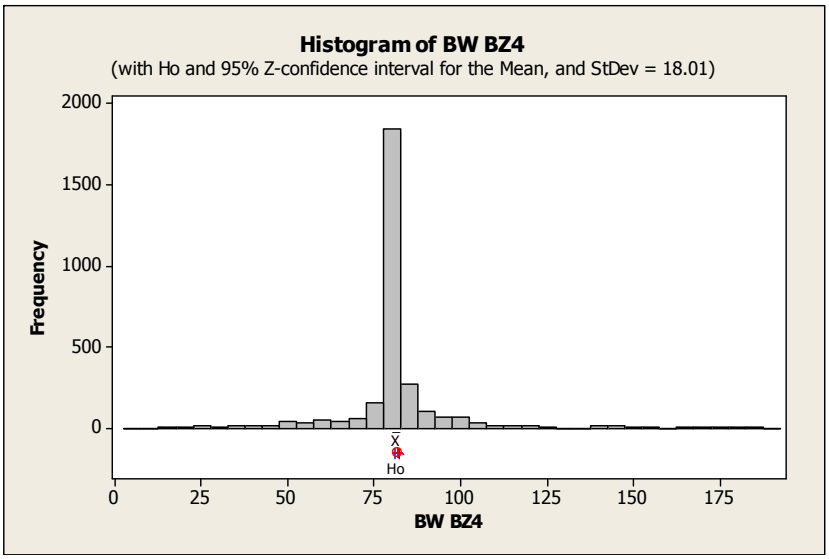


Figura 4.172: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de BATMAN en la zona 4

One-Sample Z: BW BZ4

```
Test of mu = 81.615 vs not = 81.615
The assumed standard deviation = 18.01

Variable     N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
BW BZ4    3001  81.6155  18.0100   0.3288  (80.9711; 82.2598)  0.00  0.999
```

Figura 4.173: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de BATMAN en la zona 4

ROOFNET

Descriptive Statistics: RETARDO RZ4; JITTER RZ4; BW RZ4

Variable	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
RETARDO RZ4	3279	0	20.060	0.459	26.308	0.000000000	2.870	17.230
JITTER RZ4	3279	0	14.311	0.0871	4.986	0.890	10.690	14.120
BW RZ4	3279	0	80.099	0.143	8.197	3.200	78.400	80.000

Variable	Q3	Maximum
RETARDO RZ4	23.440	334.130
JITTER RZ4	17.290	35.160
BW RZ4	81.600	108.800

Figura 4.174: Información de estadística descriptiva para ROOFNET en la zona 4

Retardo:

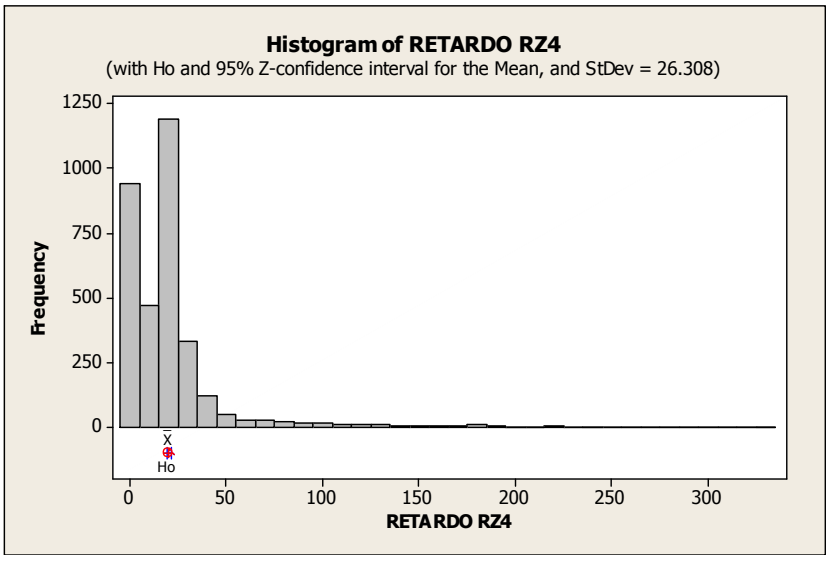


Figura 4.175: Histograma de frecuencias para el retardo de ROOFNET en la zona 4

One-Sample Z: RETARDO RZ4

```
Test of mu = 20.06 vs not = 20.06
The assumed standard deviation = 26.308

Variable        N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
RETARDO RZ4  3279  20.0600  26.3085   0.4594  (19.1595; 20.9604)  -0.00  1.000
```

Figura 4.176: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de ROOFNET en la zona 4

Jitter:

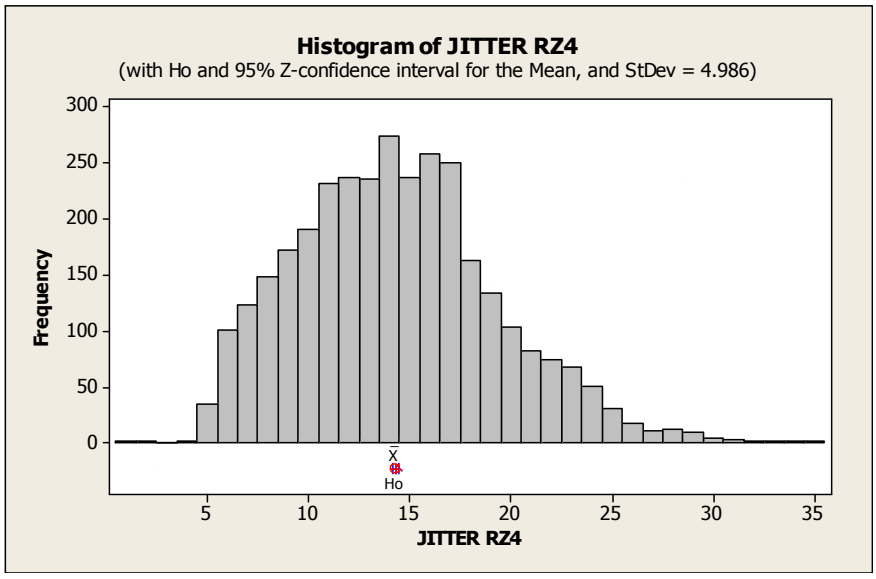


Figura 4.177: Histograma de frecuencias para el jitter de ROOFNET en la zona 4

One-Sample Z: JITTER RZ4

```
Test of mu = 14.311 vs not = 14.311
The assumed standard deviation = 4.986

Variable       N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
JITTER RZ4  3279  14.3107   4.9857   0.0871  (14.1400; 14.4813)  -0.00  0.997
```

Figura 4.178: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de ROOFNET en la zona 4

Ancho De Banda:

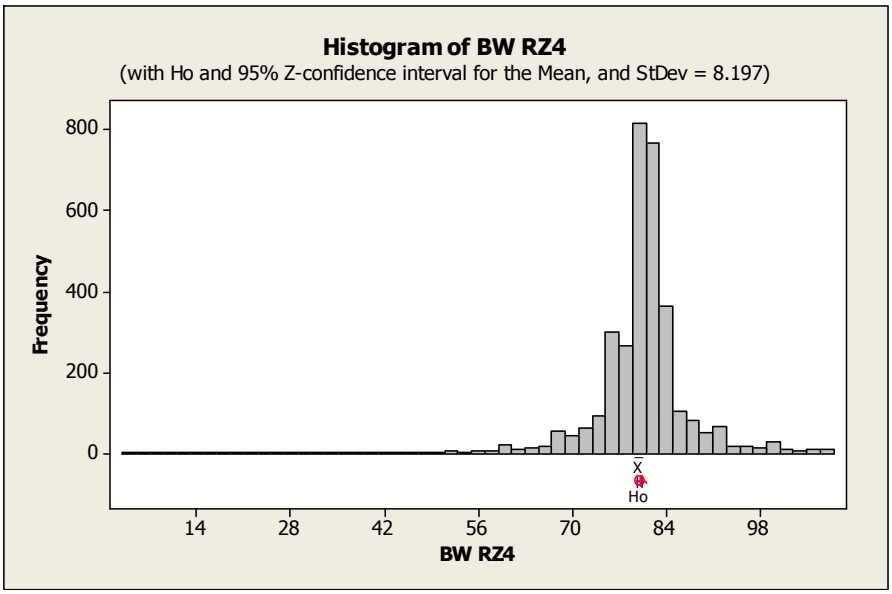


Figura 4.179: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de ROOFNET en la zona 4

One-Sample Z: BW RZ4

```
Test of mu = 80.099 vs not = 80.099
The assumed standard deviation = 8.197

Variable     N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI            Z      P
BW RZ4    3279  80.0986   8.1970   0.1431  (79.8180; 80.3791)  -0.00  0.998
```

Figura 4.180: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de ROOFNET en la zona 4

WING

Descriptive Statistics: RETARDO WZ4; JITTER WZ4; BW WZ4

```
Variable        N  N*    Mean  SE Mean   StDev      Minimum           Q1
RETARDO WZ4  3030   0  20.245    0.963  52.988  0.000000000  0.000000000
JITTER WZ4   3030   0  26.387    0.166   9.161        1.250       20.348
BW WZ4       3030   0  85.357    0.630  34.660        3.200       65.600

Variable     Median       Q3  Maximum
RETARDO WZ4  0.0100   21.440  957.650
JITTER WZ4   23.900   29.890   81.410
BW WZ4       80.000  100.800  198.400
```

Figura 4.181: Información de estadística descriptiva para WING en la zona 4

Retardo:

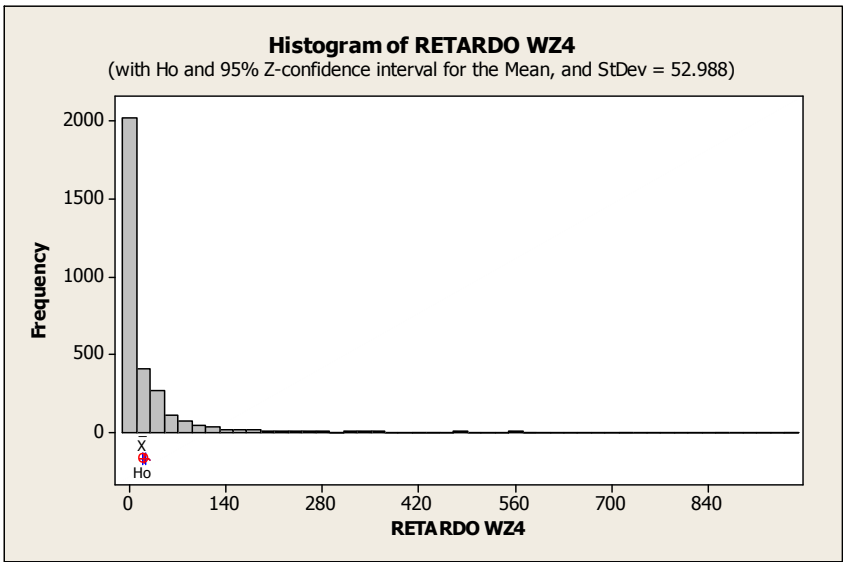


Figura 4.182: Histograma de frecuencias para el retardo de WING en la zona 4

One-Sample Z: RETARDO WZ4

```
Test of mu = 20.245 vs not = 20.245
The assumed standard deviation = 52.988

Variable        N     Mean    StDev  SE Mean         95% CI           Z      P
RETARDO WZ4  3030  20.2451  52.9883   0.9626  (18.3584; 22.1318)   0.00  1.000
```

Figura 4.183: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el retardo de WING en la zona 4

Jitter:

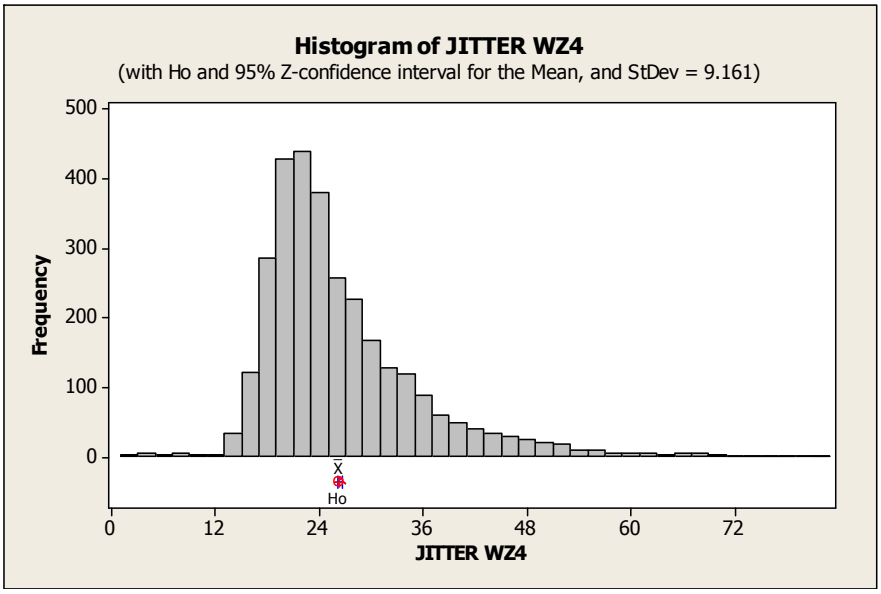


Figura 4.184: Histograma de frecuencias para el jitter de WING en la zona 4

One-Sample Z: JITTER WZ4

Test of mu = 26.387 vs not = 26.387
The assumed standard deviation = 9.161

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	Z	P
JITTER WZ4	3030	26.3869	9.1612	0.1664	(26.0607; 26.7131)	-0.00	1.000

Figura 4.185: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el jitter de WING en la zona 4

Ancho de Banda:

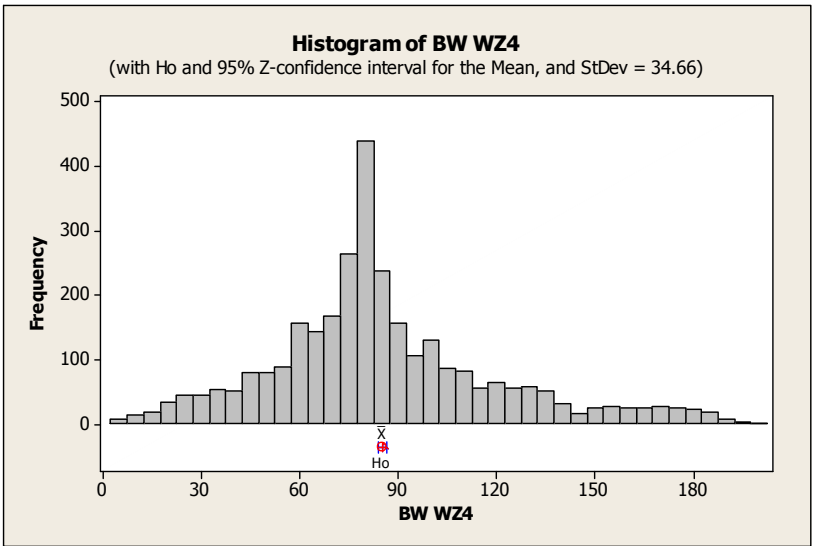


Figura 4.186: Histograma de frecuencias para el ancho de banda de WING en la zona 4

One-Sample Z: BW WZ4

Test of mu = 85.357 vs not = 85.357
The assumed standard deviation = 34.66

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI	Z	P
BW WZ4	3030	85.3566	34.6598	0.6297	(84.1225; 86.5907)	-0.00	0.999

Figura 4.187: Resultado de prueba de intervalos de confianza para el ancho de banda de WING en la zona 4

CAPITULO 5

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Del análisis estadístico de los datos capturados, se puede afirmar, con un 95% de nivel de confianza, que en la zona 1, la media poblacional de cada protocolo para cada parámetro se encuentra en los siguientes intervalos de confianza:

Retardo:

- OLSR: Entre 19.7897 ms y 20.2414 ms
- B.A.T.M.A.N.: Entre 19.7336 ms y 20.7952 ms
- Roofnet: Entre 19.7609 ms y 20.4582 ms
- W.I.N.G.: Entre 19.5543 ms y 21.5771 ms

Jitter:

- OLSR: Entre 3.82224 ms y 3.93179 ms
- B.A.T.M.A.N.: Entre 4.84009 ms y 5.12142 ms
- Roofnet: Entre 5.64055 ms y 5.78441 ms
- W.I.N.G.: Entre 12.2304 ms y 12.6275 ms

Ancho de Banda:

- OLSR: Entre 79.8613 Kbps y 80.2756 Kbps
- B.A.T.M.A.N.: Entre 79.0406 Kbps y 79.5912 Kbps
- Roofnet: Entre 79.7687 Kbps y 80.1581 Kbps
- W.I.N.G.: Entre 77.8852 Kbps y 78.6087 Kbps

De igual manera, en la zona 2 se puede afirmar con un 95% de certeza que los valores para la media poblacional de cada parámetro están en los siguientes intervalos de confianza:

Retardo:

- OLSR: Entre 19.9149 ms y 22.0658 ms

- B.A.T.M.A.N.: Entre 18.6876 ms y 21.7534 ms
- Roofnet: Entre 17.9805 ms y 23.5330 ms
- W.I.N.G.: Entre 18.4422 ms y 22.1848 ms

Jitter:

- OLSR: Entre 12.0655 ms y 12.5218 ms
- B.A.T.M.A.N.: Entre 18.8774 ms y 19.6995 ms
- Roofnet: Entre 13.0336 ms y 14.1509 ms
- W.I.N.G.: Entre 15.5051 ms y 16.2916 ms

Ancho de Banda:

- OLSR: Entre 77.5473 Kbps y 78.3227 Kbps
- B.A.T.M.A.N.: Entre 84.7528 Kbps y 86.9564 Kbps
- Roofnet: Entre 87.8362 Kbps y 91.4105 Kbps
- W.I.N.G.: Entre 85.1683 Kbps y 87.9330 Kbps

En la zona 3, con el mismo 95% de certeza, los valores de las medias poblacionales se encuentran en los siguientes intervalos de confianza:

Retardo:

- OLSR: Entre 19.7918 ms y 20.7733 ms
- B.A.T.M.A.N.: Entre 19.7036 ms y 20.5446 ms
- Roofnet: Entre 19.7384 ms y 20.2570 ms
- W.I.N.G.: Entre 18.1850 ms y 22.4393 ms

Jitter:

- OLSR: Entre 5.91841 ms y 6.10843 ms
- B.A.T.M.A.N.: Entre 5.22906 ms y 5.51199 ms
- Roofnet: Entre 4.86555 ms y 4.95809 ms
- W.I.N.G.: Entre 18.5655 ms y 19.3918 ms

Ancho de Banda:

- OLSR: Entre 78.9986 Kbps y 79.4767 Kbps
- B.A.T.M.A.N.: Entre 79.5480 Kbps y 80.0281 Kbps
- Roofnet: Entre 79.9485 Kbps y 80.3626 Kbps
- W.I.N.G.: Entre 84.2108 Kbps y 86.4657 Kbps

Finalmente, con un 95% de certeza, en la zona 4 los valores de la media poblacional de cada parámetro, se ubican en los siguientes intervalos de confianza:

Retardo:

- OLSR: Entre 19.3868 ms y 20.6148 ms
- B.A.T.M.A.N.: Entre 19.1221 ms y 21.1073 ms
- Roofnet: Entre 19.1595 ms y 20.9604 ms
- W.I.N.G.: Entre 18.3584 ms y 22.1318ms

Jitter:

- OLSR: Entre 9.14839 ms y 9.49979 ms
- B.A.T.M.A.N.: Entre 12.1467 ms y 12.6557 ms
- Roofnet: Entre 14.1400 ms y 14.4813 ms
- W.I.N.G.: Entre 26.0607 ms y 26.7131 ms

Ancho de Banda:

- OLSR: Entre 79.8739 Kbps y 80.3961 Kbps
- B.A.T.M.A.N.: Entre 80.9711 Kbps y 82.2598 Kbps

- Roofnet: Entre 79.8180 Kbps y 80.3791 Kbps
- W.I.N.G.: Entre 84.1225 Kbps y 86.5907 Kbps

Este análisis estadístico de intervalos de confianza para la estimación de la media poblacional a partir de los datos extraídos de una muestra (los datos que se capturaron con Wireshark) se realizó con ayuda de la herramienta MINITAB, tal como se muestra a detalle en el capítulo anterior en las figuras 4.76 a 4.187.

5.1 Análisis comparativo de los protocolos proactivos y reactivos en la red implementada

A continuación se detalla el análisis de los parámetros jitter, ancho de banda, retardo y pérdida de paquetes para determinar cuál es el protocolo más eficiente. Para ello, se elaboraron gráficas y tablas que permiten visualizar estos resultados :

Retardo:

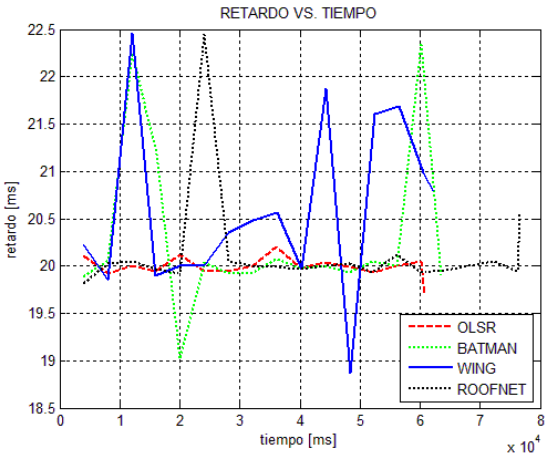


Figura 5.1: Retardo en Zona 1

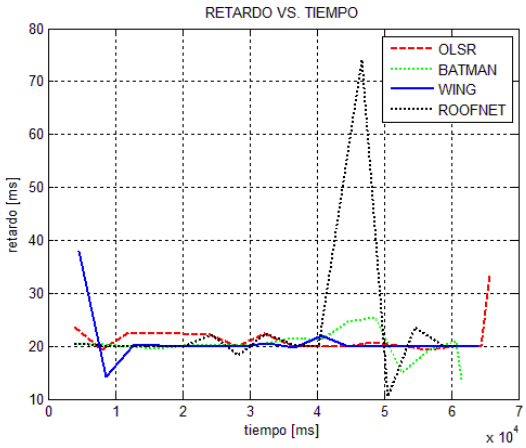


Figura 5.2: Retardo en Zona 2

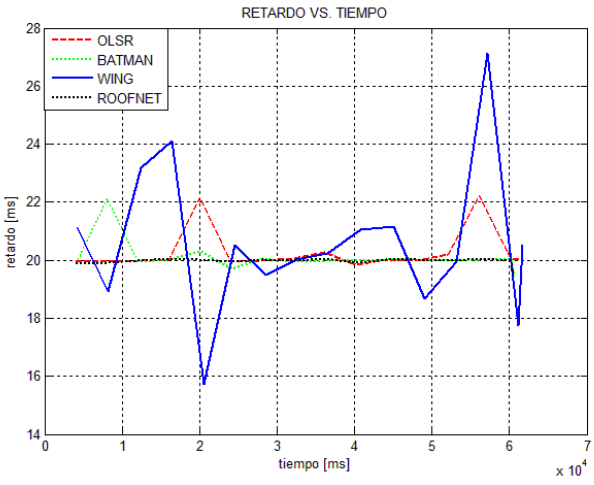


Figura 5.3: Retardo en Zona 3

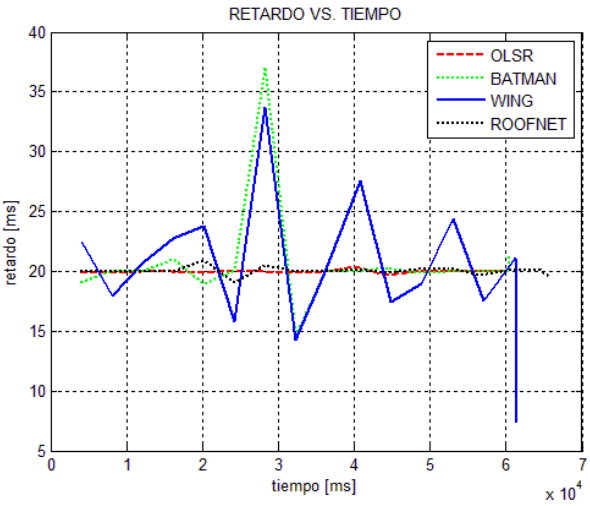


Figura 5.4: Retardo en Zona 4

Como se puede apreciar en las Figuras 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4, OLSR tiene valores de retardo más estables, estando los mismos en valores muy próximos a 20ms en cada zona. Roofnet presenta valores de retardo muy estables y similares a los obtenidos con OLSR en las zonas 3 (Figura 5.3) y zona 4 (Figura 5.4), pero no así en las zonas 1 (Figura 5.1) y zona 2 (Figura 5.2) donde hay momentos en que esto cambia más notoriamente.

WING en casi todas las zonas muestra valores cambiantes de retardo, desde casi 16ms hasta aproximadamente 27ms, dependiendo de la zona observada; únicamente en la zona 2 (Figura 5.2) muestra retardo estable.

BATMAN, finalmente, tiene pocos picos de retardo y, en promedio, muestra niveles bajos en cada zona, pero aún así no llega a los valores que se muestran con OLSR. En términos generales, y obviando ciertos valores que pueden ser considerados como datos aberrantes, como por ejemplo el punto de Roofnet entre los 4 y los 5 segundos de llamada en la zona 2 (Figura 5.2), cada protocolo se maneja con valores bastante aceptables de retardo, recordando que se recomienda que para aplicaciones de VoIP estos valores sean menores a los 150 ms.

Jitter:

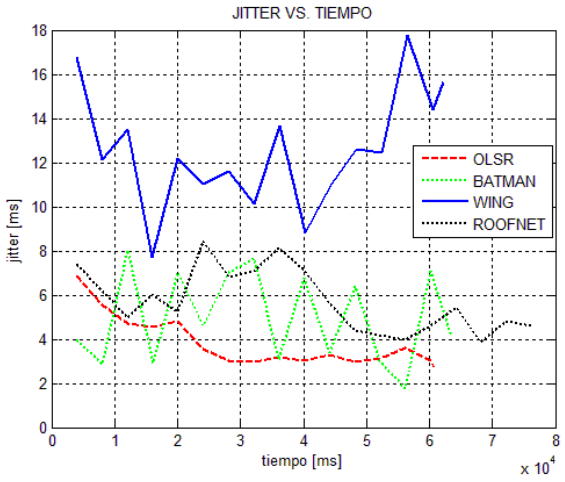


Figura 5.5: Jitter en Zona 1

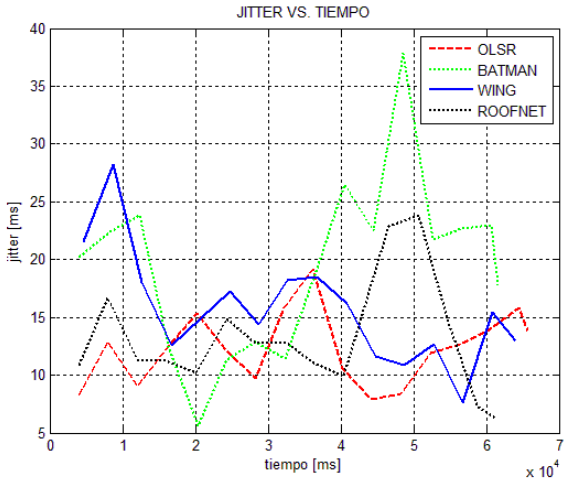


Figura 5.6: Jitter en Zona 2

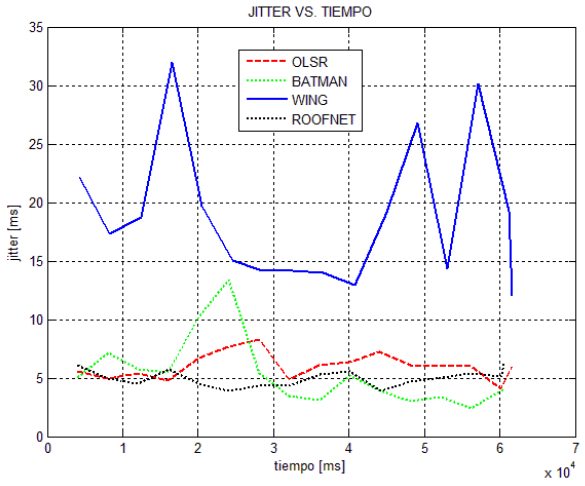


Figura 5.7: Jitter en Zona 3

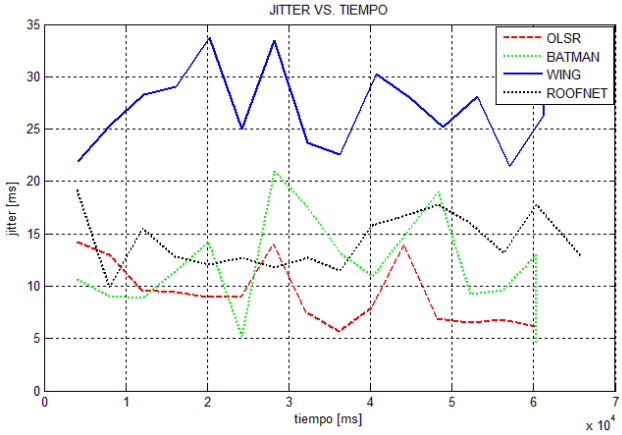


Figura 5.8: Jitter en Zona 4

Los valores de jitter, como se puede apreciar en las figuras 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8, son más bien variantes en todos los protocolos. En el caso de OLSR, donde mejores valores muestra es en la zona 1 (Fig. 5.5) donde toma valores de entre 3 ms y 7 ms aproximadamente; su pico más notorio está en la zona 2 (Figura 5.6) entre los 30 y 40 s de llamada, donde alcanza un valor cercano a los 20 ms. WING, por otro lado presenta los valores más altos de jitter, especialmente en las zonas 3 y 4 (Fig. 5.7 y 5.8 respectivamente) donde alcanza valores de hasta entre 30 y 35 ms. BATMAN, en cambio, muestra valores muy aproximados a OLSR, pero aún así no lo supera, puesto que presenta unos pocos valores muy variantes, siendo el más notorio en la zona 2 (Fig. 5.6) entre los 40 y los 50 s. ROOFNET presenta también valores de jitter cercanos a OLSR. Su pico más alto lo presenta en la zona 2 (Fig. 5.6) entre 40 y 50 s de llamada, donde llega a casi 25 ms. De manera general, todos los protocolos presentan buenos valores de jitter, puesto que se recomienda que estos valores sean inferiores a los 100 ms entre el punto inicial y el punto final de la comunicación. No obstante, OLSR es el que presenta los valores más bajos.

Ancho de Banda:

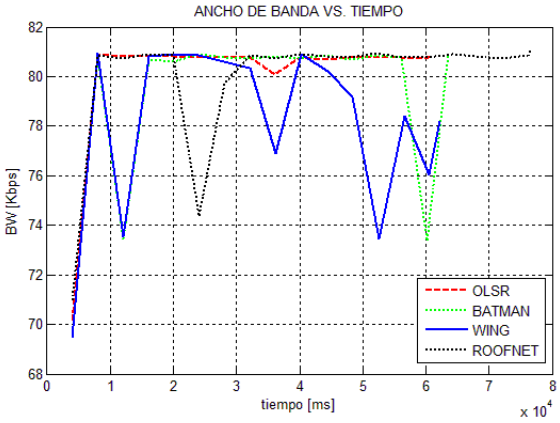


Figura 5.9: Ancho de Banda consumido en Zona 1

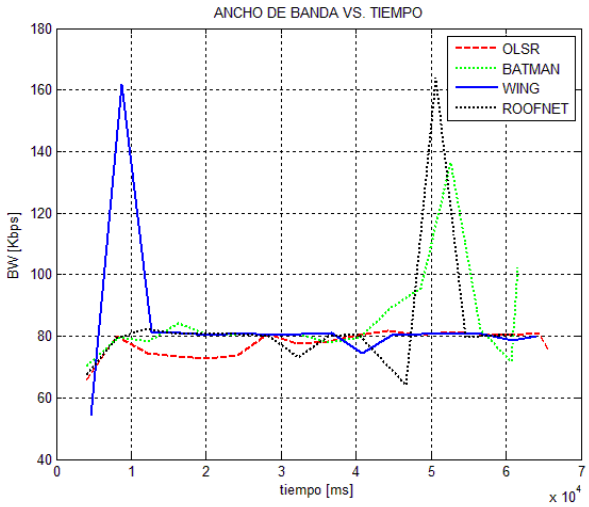


Figura 5.10: Ancho de Banda consumido en Zona 2

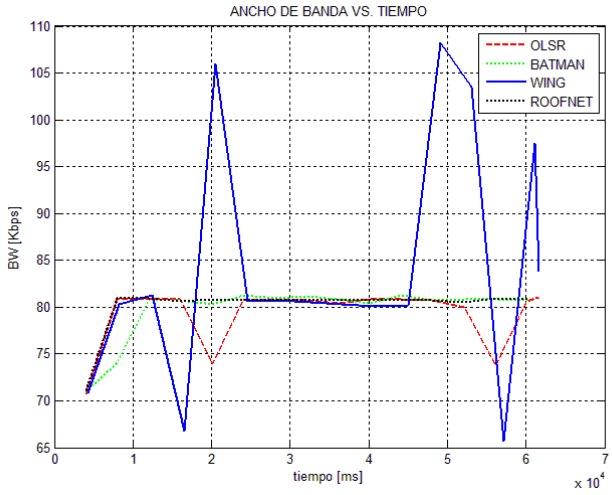


Figura 5.11: Ancho de Banda consumido en Zona 3

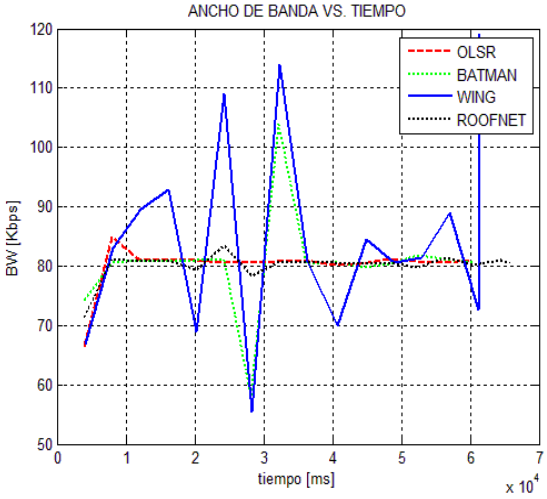


Figura 5.12: Ancho de Banda consumido en Zona 4

En las figuras 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, e indiferentemente del protocolo, se puede apreciar claramente el impacto que produce el ancho de banda en el retardo de los paquetes. Es así, que cuando aumenta el valor del ancho de banda, el valor del retardo disminuye; y, cuando el valor del ancho de banda disminuye, el valor del retardo aumenta. WING, seguido por BATMAN, muestran valores cambiantes de ancho de banda, lo cual se ve puede ver reflejado en el retardo. Especialmente, en el caso de WING que durante ciertos momentos cambia drásticamente estos valores, los cuales pueden llegar desde los 60 Kbps hasta los 160 Kbps, como se muestra en la figura 5.10, durante los 10 primeros segundos de llamada; mientras que BATMAN, un poco más estable que WING, presenta valores que, en su mayoría, están alrededor de 80 Kbps, con picos de entre 60 y 105 Kbps en la zona 4 (Figura 5.12) entre los 20 y los 40 s. OLSR y Roofnet muestran valores más estables, que están alrededor de 80Kbps. OLSR tiene muy pocas variaciones en sus valores de ancho de banda, siendo la más notoria la que presenta en la zona 3 (Figura 5.11), con dos decrementos a 75 Kbps a los 20 s y entre los 50 y los 60 s. ROOFNET, en cambio, presenta ligeramente más cambios, como los que muestra en la zona 1 (Figura 5.9) donde baja hasta a 75 Kbps entre los 20 y los 30 s, y en la zona 2 (Figura 5.10) donde hay un pico a casi 160 Kbps alrededor del segundo 50; pero, no obstante, el resto

del tiempo en cada zona, ROOFNET se mantiene en aproximadamente 80 Kpbs.

Para poder observar el desempeño de cada protocolo en la zona respectiva se detallará en tablas el funcionamiento con los valores reales obtenidos:

- **Retardo**

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**
4002	20,1102	4017	19,8855	4004	20,2197	4003	19,8187
8026	19,9214	8049	20,0596	8014	19,8520	8010	20,0316
12026	20,0005	12053	22,2443	12034	22,4599	12019	20,0442
16036	19,9490	16058	21,1899	16034	19,9008	16033	19,9721
20059	20,1143	20072	19,0261	20034	20,0003	20037	19,9226
24088	19,9446	24080	20,0413	24053	19,9973	24055	22,4456
28096	19,9415	28105	19,9216	28063	20,3529	28065	20,0509
32098	20,0086	32111	19,9333	32159	20,4802	32086	20,0009
36117	20,1975	36127	20,0780	36210	20,5653	36104	19,9911
40132	19,9779	40142	19,9776	40224	19,9656	40118	19,9701
44140	20,0406	44143	20,0016	44403	21,8798	44118	20,0029
48159	19,9949	48149	19,9308	48403	18,8685	48143	20,0247
52167	19,9358	52160	20,0552	52529	21,6037	52149	19,9279
56167	20,0002	56161	20,0075	56541	21,6844	56153	20,1208
60177	20,0534	60185	22,3543	60549	20,9860	60159	19,9307
60807	19,6841	63509	19,9018	62129	20,7918	64169	19,9509
---	---	---	---	---	---	68171	20,0078
---	---	---	---	---	---	72180	20,0460
---	---	---	---	---	---	76188	19,9400
---	---	---	---	---	---	76517	20,5675

Tabla VIII - Zona 1-Valores obtenidos de Retardo

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**
4007	23,5683	4071	20,4581	4662	37.8987	4012	20,5721
8014	19,2657	8257	20,4186	8665	14.0980	8013	20,1096
12087	22,5029	12286	19,8480	12679	20.0664	12019	20,0268
16142	22,4033	16303	19,5961	16690	20.0580	16055	20,1823
20155	22,2936	20305	20,1101	20698	19.8393	20063	19,8394
24160	22,1305	24313	20,0403	24709	20.0572	24262	22,1007
28183	20,0139	28323	20,1509	28711	20.0098	28290	18,3107
32189	22,3812	32370	20,5426	32717	20.5415	32303	22,2906
36207	20,0894	36442	21,6588	36738	19.8112	36306	20,3210
40210	19,9164	40523	21,1422	40759	21.9689	40311	19,9257
44225	19,8736	44532	24,5967	44759	20.0020	46613	74,1451
48255	20,6665	48605	25,4572	48769	20.0486	50633	10,4968
52390	20,0718	52614	15,0161	52779	19.9505	54646	23,6016
56408	19,4129	56636	19,3368	56802	20.0162	58653	20,0382
60412	19,9216	60654	21,0341	60812	20.1519	61066	19,9425
64417	20,0242	61571	13,2988	64069	19.8566	---	---
65721	33,4246	---	---	---	---	---	---

Tabla IX - Zona 2-Valores obtenidos de Retardo

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**
4014	19,9725	4018	19,8893	4224	21,1196	4018	19,8905
8028	19,9668	8046	22,1340	8251	18,9049	8024	19,9296
12044	19,9807	12056	19,9479	12494	23,1887	12043	19,9956
16049	20,0275	16057	20,0054	16496	24,1092	16071	20,0412
20056	22,1378	20096	20,2985	20503	15,7133	20074	20,0161
24067	19,9536	24099	19,7194	24547	20,5287	24083	19,9431
28068	20,0029	28109	20,0484	28578	19,4736	28089	20,0312
32077	20,0461	32116	19,9381	32586	20,0390	32109	19,9996
36088	20,2583	36136	19,9983	36590	20,2235	36121	20,0598
40096	19,8427	40150	19,9705	40757	21,0452	40122	19,9040

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**
44119	20,0145	44154	20,0206	45074	21,1616	44129	20,0371
48134	19,9758	48155	20,0060	49092	18,6877	48151	20,0100
52134	20,2030	52174	19,9912	53102	19,9509	52170	19,9950
56135	22,2224	56177	20,0194	57146	27,1397	56182	20,0586
60157	20,0128	60187	20,0458	61155	17,7385	60201	19,9955
61618	20,0181	60614	19,4168	61647	20,5092	60473	19,4257

Tabla X - Zona 3-Valores obtenidos de Retardo

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Retardo [ms]**
4010	19,9498	4021	19,0577	4095	22,4990	4014	19,9690
8017	9,9353	8021	20,0006	8133	17,9479	8020	20,0299
12024	20,0377	12030	20,0417	12206	20,6763	12034	20,0727
16051	20,0341	16172	21,0251	16209	22,7443	16040	20,0287
20057	19,9273	20188	18,9441	20222	23,7451	20221	20,9033
24067	20,0497	24204	20,0818	24222	15,8110	24233	19,1053
28074	20,0345	28213	37,1173	28231	33,6884	28256	20,5248
32088	19,8734	32213	14,8158	32275	14,2871	32269	19,9664
36103	19,9763	36214	20,1075	36316	20,2060	36272	20,0157
40126	20,4219	40223	19,9420	40721	27,5298	40288	20,1826
44139	19,6700	44237	20,2731	44860	17,4665	44309	19,9031
48152	19,9669	48244	19,9349	48872	18,9233	48310	20,2104
52168	19,9793	52267	20,0142	53042	24,3874	52315	20,3271
56177	20,0445	56269	20,1143	57064	17,5638	56334	19,7004
60202	20,0266	60279	19,9483	61174	21,0753	60363	20,0467
---	---	60364	21,3375	61343	7,3352	64377	20,1689
---	---	---	---	---	---	65777	19,4432

Tabla XI - Zona 4-Valores obtenidos de Retardo

- **Jitter**

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	**Jitter [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Jitter [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Jitter [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Jitter [ms]**
4002	6,8929	4017	3,9989	4004	16,7640	4003	7,3829
8026	5,5599	8049	2,8754	8014	12,1057	8010	6,1750
12026	4,7246	12053	8,0274	12034	13,5234	12019	4,9976
16036	4,5776	16058	2,9116	16034	7,6981	16033	6,0025
20059	4,8410	20072	7,0418	20034	12,1814	20037	5,2343
24088	3,5628	24080	4,6302	24053	11,0155	24055	8,4502
28096	3,0251	28105	7,0331	28063	11,6241	28065	6,7977
32098	2,9499	32111	7,6523	32159	10,1507	32086	7,0848
36117	3,1962	36127	3,0833	36210	13,6631	36104	8,1176
40132	3,0085	40142	6,7706	40224	8,8104	40118	7,1190
44140	3,2796	44143	3,3848	44403	10,9884	44118	5,5840
48159	2,9934	48149	6,3734	48403	12,6179	48143	4,3864
52167	3,1075	52160	3,0358	52529	12,4537	52149	4,1936
56167	3,6129	56161	1,7653	56541	17,7737	56153	3,9880
60177	3,0016	60185	7,0894	60549	14,4088	60159	4,6194
60807	2,7134	63509	4,1089	62129	15,6530	64169	5,4242
---	---	---	---	---	---	68171	3,8455
---	---	---	---	---	---	72180	4,8380
---	---	---	---	---	---	76188	4,6211
---	---	---	---	---	---	76517	4,5931

Tabla XII - Zona 1-Valores obtenidos de Jitter

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	**Jitter [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Jitter [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Jitter [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Jitter [ms]**
4007	8,3129	4071	20,2119	4662	21,5111	4012	10,8547
8014	12,8959	8257	22,4391	8665	28,1948	8013	16,7239
12087	9,0057	12286	23,8812	12679	17,9813	12019	11,3774
16142	12,3736	16303	12,5295	16690	12,5449	16055	11,2050
20155	15,3734	20305	5,6010	20698	14,8483	20063	10,2246
24160	12,2275	24313	11,3574	24709	17,2469	24262	14,8269
28183	9,7154	28323	12,9054	28711	14,4176	28290	12,8073
32189	15,8667	32370	11,3931	32717	18,1795	32303	12,8889
36207	19,1398	36442	18,7026	36738	18,5355	36306	11,0174
40210	10,5674	40523	26,5334	40759	16,2013	40311	9,9128
44225	7,8886	44532	22,5121	44759	11,6534	46613	22,8818
48255	8,3675	48605	37,8269	48769	10,8803	50633	23,8355
52390	11,9216	52614	21,7548	52779	12,6882	54646	14,8914
56408	12,6636	56636	22,6853	56802	7,6156	58653	7,3666
60412	13,9422	60654	22,9596	60812	15,4237	61066	6,3263
64417	15,7887	61571	17,7526	64069	12,9459	---	---
65721	13,8046	---	---	---	---	---	---

Tabla XIII - Zona 2-Valores obtenidos de Jitter

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	**Jitter [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Jitter [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Jitter [ms]**	**Tiempo [ms]**	**Jitter [ms]**
4014	5,5936	4018	5,0664	4224	22,1186	4018	6,1214
8028	4,9556	8046	7,1309	8251	17,3099	8024	4,9277
12044	5,3510	12056	5,7614	12494	18,7266	12043	4,5114
16049	4,7501	16057	5,4482	16496	31,9571	16071	5,7417
20056	6,7443	20096	10,2464	20503	19,6731	20074	4,5459
24067	7,6861	24099	13,3450	24547	15,0840	24083	3,9070
28068	8,3323	28109	5,4177	28578	14,1386	28089	4,3270
32077	4,9009	32116	3,4719	32586	14,1407	32109	4,3540
36088	6,1159	36136	3,0836	36590	13,9810	36121	5,3123

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	Jitter [ms]	Tiempo [ms]	Jitter [ms]	Tiempo [ms]	Jitter [ms]	Tiempo [ms]	Jitter [ms]
40096	6,3922	40150	5,1990	40757	12,8998	40122	5,5727
44119	7,2171	44154	3,8734	45074	19,1714	44129	3,8881
48134	6,0932	48155	3,0170	49092	26,8321	48151	4,7027
52134	5,9870	52174	3,3455	53102	14,3157	52170	5,0858
56135	6,0419	56177	2,4419	57146	30,1502	56182	5,3855
60157	4,0989	60187	3,9404	61155	19,2661	60201	5,1572
61618	5,9748	60614	3,9027	61647	12,0146	60473	6,3614

Tabla XIV - Zona 3-Valores obtenidos de Jitter

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	Jitter [ms]	Tiempo [ms]	Jitter [ms]	Tiempo [ms]	Jitter [ms]	Tiempo [ms]	Jitter [ms]
4010	14,2560	4021	10,6358	4095	21,9197	4014	19,1922
8017	13,0115	8021	9,0522	8133	25,3504	8020	9,8903
12024	9,5762	12030	8,8216	12206	28,3188	12034	15,5526
16051	9,4133	16172	11,5389	16209	29,0754	16040	12,8166
20057	8,9313	20188	14,2425	20222	33,7373	20221	12,0217
24067	8,9933	24204	5,2393	24222	24,9736	24233	12,7519
28074	14,0550	28213	21,0065	28231	33,4175	28256	11,7337
32088	7,5207	32213	17,7261	32275	23,7100	32269	12,6809
36103	5,6864	36214	13,1707	36316	22,6097	36272	11,4679
40126	7,9102	40223	10,9546	40721	30,2275	40288	15,7715
44139	13,9670	44237	14,8816	44860	27,9873	44309	16,7806
48152	6,9260	48244	19,0234	48872	25,2096	48310	17,7887
52168	6,4785	52267	9,2569	53042	28,0689	52315	15,9576
56177	6,8308	56269	9,6615	57064	21,4724	56334	13,1757
60202	6,1811	60279	12,9712	61174	26,2116	60363	17,7921
---	---	60364	4,5925	61343	30,1113	64377	14,1014
---	---	---	---	---	---	65777	12,8678

Tabla XV - Zona 4-Valores obtenidos de Jitter

- **Ancho de Banda**

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	**Ancho de Banda [Kbps]**	**Tiempo [ms]**	**Ancho de Banda [Kbps]**	**Tiempo [ms]**	**Ancho de Banda [Kbps]**	**Tiempo [ms]**	**Ancho de Banda [Kbps]**
4002	70,1266	4017	70,9307	4004	69,4222	4003	70.9703
8026	80,8950	8049	80,7562	8014	80,9505	8010	80.8720
12026	80,8160	12053	73,4667	12034	73,5285	12019	80.7120
16036	80,8597	16058	80,6942	16034	80,8279	16033	80.8995
20059	80,8000	20072	80,5839	20034	80,8880	20037	80.8597
24088	80,7762	24080	80,8800	24053	80,8597	24055	74.3687
28096	80,7642	28105	80,7921	28063	80,5848	28065	79.7520
32098	80,7760	32111	80,7403	32159	80,3360	32086	80.8438
36117	80,0884	36127	80,8320	36210	76,8893	36104	80.7483
40132	80,7881	40142	80,7085	40224	80,8995	40118	80.9075
44140	80,6800	44143	80,8400	44403	80,1927	44118	80.8080
48159	80,7721	48149	80,6846	48403	79,1774	48143	80.7801
52167	80,7881	52160	80,8640	52529	73,4325	52149	80.9234
56167	80,7520	56161	80,7680	56541	78,4086	56153	80.7799
60177	80,7440	60185	73,3511	60549	76,0461	60159	80.7881
60807	80,8500	63509	80,9006	62129	78,1684	64169	80.8836
---	---	---	---	---	---	68171	80.8000
---	---	---	---	---	---	72180	80.7440
---	---	---	---	---	---	76188	80.8438
---	---	---	---	---	---	76517	81.1000

Tabla XVI - Zona 1-Valores obtenidos de Ancho de Banda

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	**Ancho de Banda [Kbps]**	**Tiempo [ms]**	**Ancho de Banda [Kbps]**	**Tiempo [ms]**	**Ancho de Banda [Kbps]**	**Tiempo [ms]**	**Ancho de Banda [Kbps]**
4007	65,8918	4071	70,2151	4662	53,8797	4012	67,4215
8014	80,0385	8257	79,6488	8665	161,9606	8013	79,3085
12087	74,3691	12286	78,1557	12679	81,4880	12019	82,5360
16142	73,3083	16303	84,1912	16690	80,9120	16055	80,6720
20155	72,8622	20305	80,2894	20698	80,3248	20063	80,6812
24160	73,8829	24313	80,3280	24709	81,2000	24262	80,8589
28183	80,8199	28323	80,4663	28711	80,5040	28290	80,0145
32189	77,7117	32370	80,6660	32717	80,5579	32303	73,0756
36207	78,4080	36442	78,1106	36738	80,9379	36306	80,0487
40210	80,3900	40523	79,5689	40759	74,4831	40311	80,7721
44225	81,8693	44532	88,9521	44759	80,4320	46613	64,1318
48255	80,2215	48605	95,6100	48769	80,5680	50633	164,0313
52390	81,2738	52614	136,4794	52779	81,1701	54646	79,6612
56408	80,8580	56636	82,0692	56802	80,7881	58653	80,3920
60412	80,3264	60654	71,5393	60812	78,6653	61066	80,8595
64417	81,1040	61571	102,0754	64069	80,0878	---	---
65721	75,0359	---	---	---	---	---	---

Tabla XVII - Zona 2-Valores obtenidos de Ancho de Banda

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	**Ancho de Banda [Kbps]**	**Tiempo [ms]**	**Ancho de Banda [Kbps]**	**Tiempo [ms]**	**Ancho de Banda [Kbps]**	**Tiempo [ms]**	**Ancho de Banda [Kbps]**
4014	70,7821	4018	70,9069	4224	70,8640	4018	71,0416
8028	80,7960	8046	74,0308	8251	80,3080	8024	80,8995
12044	80,9313	12056	80,8358	12494	81,3027	12043	80,8995
16049	80,8000	16057	80,6880	16496	66,8145	16071	80,5891
20056	74,0066	20096	80,2894	20503	105,9639	20074	80,8640

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	Ancho de Banda [Kbps]	Tiempo [ms]	Ancho de Banda [Kbps]	Tiempo [ms]	Ancho de Banda [Kbps]	Tiempo [ms]	Ancho de Banda [Kbps]
24067	80,8119	24099	81,3241	24547	80,6660	24083	80,7403
28068	80,7600	28109	80,8960	28578	80,7729	28089	80,8560
32077	80,7840	32116	81,1144	32586	80,5360	32109	80,7164
36088	80,4283	36136	80,8677	36590	80,3394	36121	80,7680
40096	80,7921	40150	80,3900	40757	80,1131	40122	80,7483
44119	80,8199	44154	81,2880	45074	80,1725	44129	80,7840
48134	80,7801	48155	80,7280	49092	108,2493	48151	80,7244
52134	79,9596	52174	80,8677	53102	103,4746	52170	80,5652
56135	73,7600	56177	80,8560	57146	65,6537	56182	80,8960
60157	80,6527	60187	80,7600	61155	97,4655	60201	80,8677
61618	81,0301	60614	80,8000	61647	83,7333	60473	80,8000

Tabla XVIII - Zona 3-Valores obtenidos de Ancho de Banda

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	Ancho de Banda [Kbps]	Tiempo [ms]	Ancho de Banda [Kbps]	Tiempo [ms]	Ancho de Banda [Kbps]	Tiempo [ms]	Ancho de Banda [Kbps]
4010	66,5473	4021	74,1915	4095	66,8044	4014	71,3632
8017	84,8398	8021	80,6320	8133	83,0933	8020	81,2960
12024	80,9840	12030	80,9840	12206	89,6812	12034	80,7200
16051	80,9154	16172	80,7797	16209	92,8727	16040	81,0320
20057	81,0030	20188	81,0113	20222	69,0083	20221	79,3280
24067	80,6640	24204	80,9520	24222	109,1352	24233	83,4286
28074	80,6160	28213	58,1185	28231	55,5025	28256	78,4408
32088	80,7050	32213	103,8874	32275	114,0071	32269	80,8836
36103	80,9950	36214	80,3136	36316	80,7040	36272	80,5040
40126	80,2518	40223	80,8995	40721	69,9100	40288	80,5789
44139	80,4078	44237	79,8626	44860	84,4219	44309	80,3089
48152	81,3055	48244	80,4935	48872	80,6868	48310	80,5657
52168	80,7960	52267	81,8388	53042	81,3567	52315	79,8213
56177	80,6960	56269	81,1417	57064	88,8943	56334	81,3333
60202	80,9154	60279	80,5652	61174	72,6974	60363	80,2308

O.L.S.R.		B.A.T.M.A.N		W.I.N.G		Roofnet	
Tiempo [ms]	**Ancho de Banda [Kbps]**	**Tiempo [ms]**	**Ancho de Banda [Kbps]**	**Tiempo [ms]**	**Ancho de Banda [Kbps]**	**Tiempo [ms]**	**Ancho de Banda [Kbps]**
---	---	60364	80,4000	61343	119,0261	64377	81,0613
---	---	---	---	---	---	65777	80,4000

Tabla XIX - Zona 4-Valores obtenidos de Ancho de Banda

Análisis de pérdida de paquetes por zona para cada protocolo de enrutamiento (los valores se detallan en porcentaje):

ZONA	Detalle	PROTOCOLO			
		O.L.S.R.	**B.A.T.M.A.N.**	**W.I.N.G.**	**ROOFNET**
ZONA 1	Paquetes totales	3011	3180	3109	3806
	Paquetes perdidos	2	18	36	10
	Porcentaje de paquetes perdidos	0.07%	0.57%	1.16%	0.26%
ZONA 2	Paquetes totales	3039	3094	3155	3056
	Paquetes perdidos	1	27	17	1
	Porcentaje de paquetes perdidos	0.03%	0.87%	0.54%	0.03%
ZONA 3	Paquetes totales	3132	3013	3036	3025
	Paquetes perdidos	6	14	9	2
	Porcentaje de paquetes perdidos	0.19%	0.46%	0.30%	0.07%
ZONA 4	Paquetes totales	3039	3002	3031	3291
	Paquetes perdidos	0	7	16	4
	Porcentaje de paquetes perdidos	0.00%	0.23%	0.53%	0.12%
Promedio (%)		0.07%	0.53%	0.63%	0.12%

Tabla XX – Pérdida de paquetes por zona para cada protocolo

Como se puede apreciar, cada protocolo tiene valores de paquetes perdidos muy por debajo del 10%. No obstante, OLSR lleva la ventaja frente a los demás protocolos con un 0.07% de paquetes perdidos, seguido por Roofnet con un 0.12%. B.A.T.M.A.N. y W.I.N.G. muestran mayor porcentaje de pérdida de paquetes con un 0.53% y 0.63%, respectivamente, que no son valores que pueden afectar en gran medida a la comunicación, pero claramente se puede apreciar una ligera ventaja para OLSR en este aspecto.

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Todos los protocolos de enrutamiento que fueron empleados en este proyecto (OLSR, B.A.T.M.A.N., W.I.N.G. y Roofnet), mostraron muy buenos valores de jitter, retardo, ancho de banda y pérdida de paquetes. Por lo tanto, cualquiera de ellos puede ser empleado para implementar una red inalámbrica mallada confiable.

2. De los protocolos proactivos, OLSR fue el protocolo con mejores valores en los parámetros de evaluación, mostrando sus debidas ventajas ante el otro protocolo de esta clase, B.A.T.M.A.N., el cual en términos generales y en cada zona, presentó buenos valores pero no logró superar a OLSR.

3. De los protocolos reactivos, Roofnet superó a WING, a pesar de que este fue creado bajo las bases del primero. WING fue el protocolo que tuvo los resultados mayores y más variantes de jitter, ancho de banda y retardo; y aunque sus valores de pérdida de paquetes no fueron excesivos, fue el protocolo que presentó mayor cantidad de paquetes perdidos en la red.

4. De entre los protocolos de mayor rendimiento en cada clase, en términos generales y considerando cada uno de los cuatro parámetros empleados para determinar el protocolo más eficiente, OLSR supera a Roofnet en cada una de las zonas establecidas, constituyendo el protocolo a considerar en primera instancia en la implementación de redes de este tipo.

Recomendaciones

1. Investigar el firmware de OpenWrt que es apropiado para cada tipo de enrutador, puesto que esto evitará posteriores daños al equipo.

2. Verificar la comunicación entre los enrutadores de la red con el Gateway para evitar tener problemas con la conectividad a Internet y poder obtener un envío correcto de paquetes Voip.

3. Evitar realizar pruebas de captura de paquetes ante la presencia de muchas personas puesto que pueden ocasionar interferencia para la red, con lo cual no obtendríamos una comparación eficiente entre los protocolos.

4. Se recomienda como trabajo a futuro el uso de redes con un número mayor de nodos y el uso de pruebas adicionales de saturación, a fin de poner a un estrés mayor a los protocolos de enrutamiento y así mostrar una perspectiva diferente a lo iniciado en este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

(1) Ian Fuat Akyildiz and Xudong Wang.

"Wireless mesh networks"

(2) Sudip Misra,Subhas Chandra Misra and Isaac, Woungang,

"Guide to wireless mesh networks".

(3) Izaskun Pellejero

"Fundamentos y aplicaciones de seguridad en redes WLAN"

(4) Jungfang Wang, Bin Xie and Dharma P. Agrawal

"Journey from Mobile Ad Hoc Networks to Wireless Mesh Networks"

(5) Ekram Hossain and Kin Leung

"Wireless mesh networks- Architectures and Protocols"

(6) Características de enrutador WRT54GL,

http://www.linksysbycisco.com/EU/en/products/WRT54GL, fecha de consulta mayo 2011.

(7)Características de enrutador Meraki Outdoor http://meraki.com/products_services/access_points/outdoor/, fecha de consulta mayo 2011.

(8)Características de enrutador Dlink Dir 825, http://www.dlink.com/DIR-825, fecha de consulta mayo 2011.

(9) Particularidades de sniffer Wireshark, http://www.wireshark.org/ fecha de consulta Junio 2011.

(10) Programa X-lite http://www.counterpath.com/x-lite.html, fecha de consulta Junio 2011.

(11) Firmware OpenWrt https://openwrt.org/ fecha de consulta Junio 2011.

(12) Paquetes disponibles para cada tipo de enrutador http://wiki.openwrt.org/oldwiki/hardware/linksys , fecha de consulta Julio 2011.

(13) Tipos de firmware para el enrutador Dlink Dir 825. http://wiki.openwrt.org/toh/d-link/dir-825 , fecha de consulta Julio 2011.

(14) Cómo instalar Wing http://www.wing-project.org/ , fecha de consulta Mayo 2011.

(15) Modo monitor para redes ad-hoc http://en.wikipedia.org/wiki/Monitor_mode , fecha de consulta Julio 2011.

(16) Cómo instalar OLSR http://wiki.openwrt.org/inbox/mesh.olsr , fecha de consulta Abril 2011.

ANEXOS

ANEXO A: Código de Matlab para generación de gráficos

```
%*************************************************************************
%ZONA 1:
%deltaO=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA1.xlsx','D9377:D12387');
%jitterO=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA1.xlsx','E9377:E12387');
%BWO=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA1.xlsx','G9377:G12387');

%deltaB=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA1.xlsx','P3048:P6049');
%jitterB=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA1.xlsx','Q3048:Q6049');
%BWB=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA1.xlsx','S3048:S6049');

%deltaW=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA1.xlsx','AN3084:AN6114');
%jitterW=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA1.xlsx','AO3084:AO6114');
%BWW=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA1.xlsx','AQ3084:AQ6114');

%deltaR=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA1.xlsx','AB3301:AB6580');
%jitterR=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA1.xlsx','AC3301:AC6580');
%BWR=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA1.xlsx','AE3301:AE6580');
%*************************************************************************


%*************************************************************************
%ZONA 2:
%deltaO=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA2.xlsx','D8891:D11929');
%jitterO=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA2.xlsx','E8891:E11929');
%BWO=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA2.xlsx','G8891:G11929');

%deltaB=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA2.xlsx','P3189:P6323');
%jitterB=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA2.xlsx','Q3189:Q6323');
%BWB=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA2.xlsx','S3189:S6323');

%deltaW=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA2.xlsx','AN3118:AN6139');
%jitterW=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA2.xlsx','AO3118:AO6139');
%BWW=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA2.xlsx','AQ3118:AQ6139');

%deltaR=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA2.xlsx','AB3837:AB7642');
%jitterR=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA2.xlsx','AC3837:AC7642');
%BWR=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA2.xlsx','AE3837:AE7642');
%*************************************************************************


%*************************************************************************
%ZONA 3:
%deltaO=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA3.xlsx','D8578:D11709');
%jitterO=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA3.xlsx','E8578:E11709');
%BWO=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA3.xlsx','G8578:G11709');

%deltaB=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA3.xlsx','P3103:P6148');
%jitterB=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA3.xlsx','Q3103:Q6148');
%BWB=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA3.xlsx','S3103:S6148');

%deltaW=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA3.xlsx','AN3215:AN6369');
%jitterW=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA3.xlsx','AO3215:AO6369');
%BWW=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA3.xlsx','AQ3215:AQ6369');

%deltaR=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA3.xlsx','AB3065:AB6007');
```

```
%jitterR=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA3.xlsx','AC3065:AC6007');
%BWR=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA3.xlsx','AE3065:AE6007');
%*************************************************************************


%*************************************************************************
%ZONA 4:
deltaO=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA4.xlsx','D8336:D11374');
jitterO=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA4.xlsx','E8336:E11374');
BWO=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA4.xlsx','G8336:G11374');

deltaB=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA4.xlsx','P3044:P6056');
jitterB=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA4.xlsx','Q3044:Q6056');
BWB=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA4.xlsx','S3044:S6056');

deltaW=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA4.xlsx','AN3099:AN6134');
jitterW=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA4.xlsx','AO3099:AO6134');
BWW=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA4.xlsx','AQ3099:AQ6134');

deltaR=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA4.xlsx','AB3053:AB6077');
jitterR=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA4.xlsx','AC3053:AC6077');
BWR=xlsread('C:\Users\Joedward\Documents\MATLAB\ZONA4.xlsx','AE3053:AE6077');
%*************************************************************************


tiempoO=0;
jitter_acumO=0;
BW_acumO=0;
i=0;
j=1;
contadorO=0;
flagO = 0;

tiempoB=0;
jitter_acumB=0;
BW_acumB=0;
contadorB=0;
flagB = 0;

tiempoW=0;
jitter_acumW=0;
BW_acumW=0;
contadorW=0;
flagW = 0;

tiempoR=0;
jitter_acumR=0;
BW_acumR=0;
contadorR=0;
flagR = 0;

while(i<size(deltaO,1)-1)
    while(tiempoO<4000 && flagO == 0)
        i=i+1;
        contadorO=contadorO+1;
        tiempoO=tiempoO+deltaO(i);
        jitter_acumO=jitter_acumO+jitterO(i);
        BW_acumO=BW_acumO+BWO(i);
        if (i>size(deltaO,1)-1)
           flagO = 1;
        end
    end
    deltaPO(j)=tiempoO/contadorO;
    jitterPO(j)=jitter_acumO/contadorO;
    BWPO(j)=BW_acumO/contadorO;
    if(j==1)
        tiempo_realO(j)=tiempoO;
    else
        tiempo_realO(j)=tiempoO+tiempo_realO(j-1);
    end
```

```
    j=j+1;
    tiempoO=0;
    contadorO=0;
    jitter_acumO=0;
    BW_acumO=0;

end

i=0;
j=1;
while(i<size(deltaB,1)-1)
    while(tiempoB<4000 && flagB == 0)
        i=i+1;
        contadorB=contadorB+1;
        tiempoB=tiempoB+deltaB(i);
        jitter_acumB=jitter_acumB+jitterB(i);
        BW_acumB=BW_acumB+BWB(i);
        if (i>size(deltaB,1)-1)
           flagB = 1;
        end
    end
    deltaPB(j)=tiempoB/contadorB;
    jitterPB(j)=jitter_acumB/contadorB;
    BWPB(j)=BW_acumB/contadorB;
    if(j==1)
        tiempo_realB(j)=tiempoB;
    else
        tiempo_realB(j)=tiempoB+tiempo_realB(j-1);
    end
    j=j+1;
    tiempoB=0;
    contadorB=0;
    jitter_acumB=0;
    BW_acumB=0;

end

i=0;
j=1;
while(i<size(deltaW,1)-1)
    while(tiempoW<4000 && flagW == 0)
        i=i+1;
        contadorW=contadorW+1;
        tiempoW=tiempoW+deltaW(i);
        jitter_acumW=jitter_acumW+jitterW(i);
        BW_acumW=BW_acumW+BWW(i);
        if (i>size(deltaW,1)-1)
           flagW = 1;
        end
    end
    deltaPW(j)=tiempoW/contadorW;
    jitterPW(j)=jitter_acumW/contadorW;
    BWPW(j)=BW_acumW/contadorW;
    if(j==1)
        tiempo_realW(j)=tiempoW;
    else
        tiempo_realW(j)=tiempoW+tiempo_realW(j-1);
    end
    j=j+1;
    tiempoW=0;
    contadorW=0;
    jitter_acumW=0;
    BW_acumW=0;

end

i=0;
j=1;
while(i<size(deltaR,1)-1)
    while(tiempoR<4000 && flagR == 0)
```

```
        i=i+1;
        contadorR=contadorR+1;
        tiempoR=tiempoR+deltaR(i);
        jitter_acumR=jitter_acumR+jitterR(i);
        BW_acumR=BW_acumR+BWR(i);
        if (i>size(deltaR,1)-1)
           flagR = 1;
        end
    end
    deltaPR(j)=tiempoR/contadorR;
    jitterPR(j)=jitter_acumR/contadorR;
    BWPR(j)=BW_acumR/contadorR;
    if(j==1)
        tiempo_realR(j)=tiempoR;
    else
        tiempo_realR(j)=tiempoR+tiempo_realR(j-1);
    end
    j=j+1;
    tiempoR=0;
    contadorR=0;
    jitter_acumR=0;
    BW_acumR=0;

end


retardo=plot(tiempo_realO,deltaPO,tiempo_realB,deltaPB,tiempo_realW,deltaPW,tiempo_realR,
deltaPR);
set(retardo,'LineWidth',2,{'LineStyle'},{'--';':';'-';':'})
set(retardo,{'Color'},{'r';'g';'b';'K'})
grid on
xlabel('tiempo [ms]'), ylabel('retardo [ms]')
legend(retardo,'OLSR','BATMAN','WING','ROOFNET')
title('RETARDO VS. TIEMPO')

figure(2);
ancho_banda=plot(tiempo_realO,BWPO,tiempo_realB,BWPB,tiempo_realW,BWPW,tiempo_realR,BWPR)
;
set(ancho_banda,'LineWidth',2,{'LineStyle'},{'--';':';'-';':'})
set(ancho_banda,{'Color'},{'r';'g';'b';'K'})
grid on
xlabel('tiempo [ms]'), ylabel('BW [Kbps]')
legend(ancho_banda,'OLSR','BATMAN','WING','ROOFNET')
title('ANCHO DE BANDA VS. TIEMPO')

figure(3);
jitter=plot(tiempo_realO,jitterPO,tiempo_realB,jitterPB,tiempo_realW,jitterPW,tiempo_real
R,jitterPR);
set(jitter,'LineWidth',2,{'LineStyle'},{'--';':';'-';':'})
set(jitter,{'Color'},{'r';'g';'b';'K'})
grid on
xlabel('tiempo [ms]'), ylabel('jitter [ms]')
legend(jitter,'OLSR','BATMAN','WING','ROOFNET')
title('JITTER VS. TIEMPO')
```