

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERÍA**

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UNA RED AD HOC (MANET)  
METROPOLITANA, BASADO EN LOS PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO”**

**REALIZADO POR:**

**MARIO AUGUSTO GARZÓN GONZÁLEZ**

**SANGOLQUÍ – ECUADOR**

**2009**

## CERTIFICACIÓN

*Certificamos por medio de la presente que el Proyecto de grado previo a la obtención del Título en Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, titulado “Estudio Del Comportamiento De Una Red Ad Hoc (Manet) Metropolitana, Basado En Los Protocolos De Enrutamiento” fue realizado en su totalidad y bajo nuestra supervisión por el Sr. Mario Augusto Garzón González con CI: 171129660-6.*

Atentamente,

---

Ing. Román Lara  
DIRECTOR

---

Ing. Gonzalo Olmedo  
CODIRECTOR

## RESUMEN

El presente proyecto muestra el Estudio del comportamiento de una red *Ad Hoc (Manet)* metropolitana, basado en los protocolos de enrutamiento, a partir de la estándar IEEE 802.16 que hace referencia a las tecnologías *WiMAX*.

En el primer capítulo se realizó una introducción del proyecto. En el segundo capítulo se realizó una breve introducción de la tecnología *WiMAX*, analizando los objetivo, calidad de servicio y aplicaciones, incluye además un estudio de las redes *Mesh* y del simulador NCTUns el cual fue utilizado en el presente proyecto.

El tercer capítulo presenta el estándar IEEE 802.16, su capa MAC, con sus respectivas subcapas, la capa física, la estructura de la trama, historia del estándar, modelo de propagación *Two Ray Ground*, tráfico CBR y los protocolos de enrutamiento que podría aplicarse en esta tecnología. En el cuarto capítulo se encuentran las simulaciones, parámetros de las mismas y las topologías simuladas. En el quinto capítulo se realizó un análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones y tabla comparativa de los mismos. Finalmente en el sexto capítulo se muestran las conclusiones obtenidas las cuales se basa en número total de nodos a los que se puede transmitir información en esta tecnología, *Throughput*, distancia máxima entre nodos, etc.

## DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado a Dios, por permitirme vivir y darme un día mas de vida, a mi madre, Rosita, que con su esfuerzo y sacrificio supo educarme, guiarme, soportarme y darme su aliento en los tiempos más difíciles, a los ángeles, Mi Abuelita, Mi Padre, Ñañita y Guillita, que desde el cielo me han cuidado y me han guiado, para ser cada día un mejor hombre para servicio de la sociedad.

A una persona que se volvió muy especial en este último tiempo, por ser mí apoyo, mi amiga, mi consuelo y mis sueños, Marllury R. García L.

*Mario A. Garzón G. (mag2)*

## **AGRADECIMIENTO**

Un agradecimiento muy especial a mi madre, Rosita, por haber sido madre abnegada, luchadora, sacrificada e impulsadora, la cual no permitió que me rinda en los momentos más críticos de mi vida estudiantil, ya que supo brindarme su apoyo, cariño, amor, ternura, siendo exigente y constante, para que finalice esta meta, a mis profesores los cuales supieron impartir sus conocimientos, a los Ing. Román Lara e Ing. Gonzalo Olmedo que mas que ser profesores fueron amigos, de no haber sido por ellos el presente proyecto no hubiera llegado a sus inicios y menos aun a su culminación, a mis familiares, a amigos que estuvieron allí para darme su ánimo, a todas aquellas personas que en su momento me ayudaron a salir adelante y saben que les agradezco, a Maggy, por su amor, cariño, ternura y su constante interés en que esta ingeniería se concrete; solo me queda por decirle mil gracias y saben que siempre pueden contar conmigo, nuevamente mil gracias, siempre estarán en mis oraciones.

## **PROLOGO**

El presente proyecto titulado “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UNA RED AD HOC (MANET) METROPOLITANA, BASADO EN LOS PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO” tiene como propósitos fundamentales estudiar las características del estándar IEEE 802.16 y los protocolos de enrutamiento que podría utilizarse para redes de área metropolitana; los resultados obtenidos son a partir de simulaciones realizadas en el simulador NCTUms, el cual trabaja en sistemas operativos Linux, especialmente distribuciones Fedora.

Determinando que el estándar podría ser una gran opción, con el gran inconveniente que aun se encuentra en desarrollo sin llegar a las velocidades de transmisión y alcance deseados teóricamente, sin olvidar el alto costo que podría implicar su implementación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	ii
RESUMEN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
PROLOGO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
GLOSARIO.....	xiii
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
Introducción.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivo.....	1
1.3 Organización del trabajo.....	2
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>3</b>
WMAN Redes de área metropolitana.....	3
2.1 Introducción.....	3
2.2 ¿Qué es WiMAX?.....	3
2.2.1 Objetivo de WiMAX.....	3
2.2.2 Principio de funcionamiento de WiMAX.....	4
2.2.3 WiMAX fijo y WiMAX móvil.....	4
2.2.4 Calidad de servicio WiMAX.....	4
2.2.5 Aplicaciones WiMAX.....	5
2.3 Redes Mesh.....	5

2.4 Simulador y Emulador NCTUns.....	7
2.4.1 Entorno de Simulación NCTUns .....	7
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>8</b>
Estándar IEEE 802.16.....	8
3.1 Introducción .....	8
3.2 Capa MAC .....	8
3.2.1 Topología Punto-Multipunto.....	9
3.2.2 Topología Mesh .....	10
3.2.3 Security Sublayer .....	10
3.2.4 MAC Common Part Sublayer (MAC CPS) .....	11
3.2.5 Service-Specific Convergence Sublayer (CS) .....	11
3.3 Capa física (PHY).....	11
3.3.1 WirelessMAN-SC PHY .....	12
3.3.2 WirelessMAN-SCa PHY .....	13
3.3.3 WirelessMAN-OFDM PHY.....	14
3.3.4 WirelessMAN-OFDMa PHY .....	14
3.3.5 WirelessHUMAN PHY .....	14
3.4 Estructura de la trama IEEE 802.16.....	14
3.5 Esquema de transmisión del estándar IEEE 802.16.....	15
3.6 IEEE 802.16.....	17
3.6.1 IEEE 802.16a .....	17
3.6.2 IEEE 802.16b .....	18
3.6.3 IEEE 802.16c .....	18
3.6.4 IEEE 802.16d .....	19
3.6.5 IEEE 802.16e .....	19
3.6.6 IEEE 802.16f.....	19
3.6.7 IEEE 802.16j .....	19
3.6.8 IEEE 802.16k .....	20
3.7 Modelo de propagación Two Ray Ground.....	20
3.8 Tráfico CBR (Constant Bit Rate).....	22
3.9 Protocolos de enrutamiento.....	23
3.9.1 B.A.T.M.A.N. (Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking) .....	23
3.9.2 TORA (Temporally Ordered Routing Algorithm).....	25



3.9.3 PWRP (Predictive Wireless Routing Protocol).....	27
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	30
Simulaciones.....	30
4.1 Introducción.....	30
4.2 Escenarios .....	30
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	42
Análisis de Resultados.....	42
5.1 Introducción.....	42
5.2 Red Mesh 4x4 con radiobase externa de la red.....	43
5.3 Red Mesh 4x4 con radiobase interna en la red .....	43
5.4 Red Mesh 4x4 con radiobase interna transmitiendo a 13 nodos simultáneamente.....	45
5.5 Red Mesh .....	45
5.6 Red Mesh con transmisión simultánea .....	47
5.7 Red Mesh con nodos en movimiento.....	47
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	51
Conclusiones y Recomendaciones .....	51
6.1 Conclusiones.....	51
6.2 Recomendaciones .....	52
<b>ANEXO 1</b> .....	53
INSTALACIÓN DE NCTUNS EN DISTRIBUCIONES DEBIAN.....	53
<b>ANEXO 2</b> .....	59
INSTALACIÓN DE NCTUNS EN FEDORA.....	59
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO 3

Tabla 3. 1. Historia del estándar IEEE 802.16 .....	21
Tabla 3. 2. Características del estándar IEEE 802.16.....	22

### CAPÍTULO 4

Tabla 4. 1. Datos implementados en las simulaciones .....	31
Tabla 4. 2. Valores característicos de <i>Path Loss Exponent</i> .....	36
Tabla 4. 3. Valores característicos de <i>Shadowing Standard Deviation</i> .....	36

### CAPÍTULO 5

Tabla 5. 1. Parámetros de Simulación .....	42
Tabla 5. 2. Resultados Obtenidos de las Simulaciones .....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

Figura 2. 1. Logo <i>WiMAX</i> certificado.....	4
Figura 2. 2. Red <i>Mesh</i> .....	6
Figura 2. 3. Red <i>Mesh</i> urbana.....	7

### CAPÍTULO 3

Figura 3. 1. Modelo de Referencia del estándar IEEE 802.16 .....	9
Figura 3. 2. Topología Punto-Multipunto.....	10
Figura 3. 3. Topología <i>Mesh</i> .....	11
Figura 3. 4. Tramas y Ranuras de tiempo por multiplexación <i>TDD</i> .....	12
Figura 3. 5. A) Trama genérica b) Trama de solicitud de ancho de banda.....	15
Figura 3. 6. Diagrama en bloques del esquema de transmisión. ....	16
Figura 3. 7. Modelo de propagación <i>Two Ray Ground</i> . ....	20
Figura 3. 8. Gráfico acíclico dirigido <i>DAG (Destination-oriented directed Acyclic Graph)</i> . .....	26
Figura 3. 9. Proceso de descubrimiento de ruta.....	27
Figura 3. 10. Proceso de descubrimiento y mantenimiento de ruta.....	28
Figura 3. 11. Proceso de eliminación de rutas inválidas. ....	29

### CAPÍTULO 4

Figura 4. 1. a) Estación Base b) Estación Suscriptora.....	30
Figura 4. 2. Estructura Radiobase.....	31
Figura 4. 3. Estructura del Nodo .....	33
Figura 4. 4. Red <i>Mesh</i> 4x4 radiobase fuera de la red .....	39
Figura 4. 5. Red <i>Mesh</i> 4x4 radiobase dentro de la red .....	40
Figura 4. 6. Red <i>Mesh</i> , nodos con movimiento aleatorio.....	40
Figura 4. 7. Red <i>Mesh</i> , nodos ubicados a la máxima distancia.....	41

**CAPÍTULO 5**

Figura 5. 1. <i>Throughput</i> de <i>Downlink</i> con radiobase externa a la red.....	43
Figura 5. 2. <i>Throughput</i> de <i>Downlink</i> Nodo 2.....	44
Figura 5. 3. <i>Throughput</i> de <i>Downlink</i> Nodo 16.....	44
Figura 5. 4. <i>Throughput</i> promedio sobre la red <i>Mesh</i> .....	45
Figura 5. 5. <i>Throughput</i> promedio, transmisión simultánea a 13 nodos .....	46
Figura 5. 6. <i>Throughput</i> Nodo 6 .....	46
Figura 5. 7. <i>Throughput</i> Nodo 7 .....	47
Figura 5. 8. <i>Throughput</i> Nodo 6.....	48
Figura 5. 9. <i>Throughput</i> Nodo 7 .....	48
Figura 5. 10. <i>Throughput</i> promedio de la red <i>Mesh</i> .....	49
Figura 5. 11. <i>Throughput</i> nodo 6 con nodos en movimiento .....	49
Figura 5. 12. <i>Throughput</i> nodo 7 con nodos en movimiento .....	50

## GLOSARIO

**Acíclico.-** Tiene lugar de forma no cíclica

**Aleatorizado.-** Los datos son distribuidos al azar.

**Autenticación.-** En términos de seguridad de redes de datos, se puede considerar uno de los tres pasos fundamentales (AAA). Cada uno de ellos es, de forma ordenada:

- Autorización, proceso por el cual la red de datos autoriza al usuario identificado a acceder a determinados recursos de la misma.
- Auditoría, mediante la cual la red o sistemas asociados registran todos y cada uno de los accesos a los recursos que realiza el usuario autorizados o no.
- Autenticación, en la seguridad de ordenador, la autenticación es el proceso de intento de verificar la identidad digital del remitente de una comunicación como una petición para conectarse. El remitente siendo autenticado puede ser una persona que usa un ordenador, un ordenador por sí mismo o un programa del ordenador. En un web de confianza, "autenticación" es un modo de asegurar que los usuarios son quién ellos dicen que ellos son, que el usuario que intenta realizar funciones en un sistema es de hecho el usuario que tiene la autorización para hacer así.

**Broadcast.-** Transmisión de un paquete que será recibido por todos los dispositivos en una red; es un modo de transmisión de información donde un nodo emisor envía información a una multitud de nodos receptores de manera simultánea, sin necesidad de reproducir la misma transmisión nodo por nodo.

**Bucle local inalámbrico.-** Es el uso de un enlace de comunicaciones inalámbricas como la conexión de "última milla" para ofrecer servicios de telefonía e Internet de Banda Ancha a los usuarios.

**Centralizada.-** Reunir diferentes tipos información o de diversas procedencias en un lugar común o bajo una misma dirección.

**Cobertura.-** Es el área geográfica que cubre una estación específica. Las estaciones transmisoras y las compañías de telecomunicaciones generan mapas de cobertura que le indican a sus usuarios el área en la ofrecen sus servicios.

**Códec.-** Abreviatura de codificador-decodificador. Describe una especificación desarrollada en software, hardware o una combinación de ambos, capaz de transformar un archivo con un flujo de datos (*stream*) o una señal. Los códecs pueden codificar el flujo o la señal (a menudo para la transmisión, el almacenaje o el cifrado) y recuperarlo o descifrarlo del mismo modo para la reproducción o la manipulación en un formato más apropiado para estas operaciones. Los códecs son usados a menudo en videoconferencias y emisiones de medios de comunicación.

**Colisiones.-** Una colisión ocurre cuando más de un dispositivo en una red intenta enviar datos al mismo tiempo e interfieren uno con el otro.

**Concatenación.-** Unir o enlazar cosas.

**Convergencia.-** La convergencia nació al tener que implementar varias redes al interior de las empresas, una para la electricidad, otra para la telefonía y otra para los datos. Principalmente en estas dos se generaron puntos de convergencia en cuanto a tecnología digital, y se aumentó su factibilidad y reducción de costo con la aparición de equipos "comodines" que sirven para tráfico tanto de voz como de datos.

**Convolutional.-** es un tipo de código de detección de errores donde: Cada símbolo de  $m$  bits de información se transforma, al ser codificado, en un símbolo de  $n$  bits, donde  $m/n$  es la tasa del código ( $n \geq m$ ), La transformación es función de los  $k$  símbolos anteriores, donde  $k$  es la longitud del código.

**CORE.-** Núcleo, memoria

**Degradación.-** Acción y efecto de degradar o degradarse.

**Distorsión.-** La diferencia entre señal que entra a un equipo o sistema y la señal de salida del mismo. Por tanto, puede definirse como la "deformación" que sufre una señal tras su paso por un sistema. La distorsión puede ser lineal o no lineal. Si la distorsión se da en un sistema óptico recibe el nombre de aberración.

**Downlink.-** Enlace o conexión de baja, de la rabiobase al nodo.

**Emulador.-** Es un software que permite ejecutar programas de computadora en una plataforma (arquitectura hardware o sistema operativo) diferente de aquella para la cual fueron escritos originalmente. A diferencia de un simulador, que sólo trata de reproducir el comportamiento del programa, un emulador trata de modelar de forma precisa el dispositivo que se está emulando.

**Encabezado.-** Área de datos de la trama, contiene la información necesaria para completar la transferencia, como, por ejemplo, las direcciones lógicas origen y destino.

**Encriptada.-** La encriptación es el proceso para volver ilegible información considera importante. La información una vez encriptada sólo puede leerse aplicándole una clave.

**Espectro electromagnético.-** Conjunto de ondas electromagnéticas que se propagan de manera ondulatorias y con velocidad constante, que es la de la luz, aproximadamente de 300.000 km/s. Las ondas electromagnéticas se dividen en luz visible, infrarroja, ultravioleta, rayos X, rayos gama, radiofrecuencia y microondas. Cada onda se diferencia en la frecuencia (número de vibraciones en la unidad de tiempo) y la longitud (distancia entre dos ondas sucesivas). Frecuencia y longitud de onda son inversamente proporcionales, por esto su producto siempre es constante e igual a la velocidad de la luz. Cada función de onda lleva asociada una energía, por lo tanto a mayor frecuencia mayor es la energía transportada.

**Estación suscriptor.**- Aquella que ofrece el servicio de transmisión de información a varios abonados a la misma.

**Estándar.**- Conjunto de normas y recomendaciones técnicas que regulan la transmisión en los sistemas de comunicaciones.

**GHz.**- Múltiplo de la unidad de medida de frecuencia hercio (Hz) y equivale a  $10^9$  (1.000.000.000) Hz. Por lo tanto, tiene un ciclo de 1 nanosegundo.

**IEEE.**- Corresponde a las siglas de *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas. Es la mayor asociación internacional sin fines de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros eléctricos, ingenieros en electrónica, científicos de la computación, ingenieros en informática, ingenieros en biomédica e ingenieros en telecomunicación.

**Ineficaz.**- Que no es eficaz.

**Inserción.**- Inclusión, introducción, empotramiento, penetración, embutimiento.

**Interfaz.**- Interfaz es el puerto por el cual se envían o reciben información desde un sistema hacia otros.

**Interferencia.**- Cualquier proceso que altera, modifica o destruye una señal durante su trayecto en el canal existente entre el emisor y el receptor.

**Interoperabilidad.**- Condición mediante la cual sistemas heterogéneos pueden intercambiar procesos o datos. La interoperatividad es una propiedad que puede predicarse de sistemas de naturaleza muy diferente, como pueden ser los sistemas informáticos (en cuyo caso se le suele denotar también como neutralidad tecnológica), o los ferroviarios.

**IP.**- Número que identifica de manera unívoca una interfaz de red conectada a Internet.



**Latencia.-** Suma de retardos temporales dentro de una red. Un retardo es producido por la demora en la propagación y transmisión de paquetes dentro de la red.

**MAC.-** Dirección MAC (*Media Access Control* o control de acceso al medio) es un identificador de 48 bits (6 octetos) que corresponde de forma única a una *ethernet* de red. Es individual, cada dispositivo tiene su propia dirección MAC determinada y configurada por el IEEE (los últimos 24 bits) y el fabricante (los primeros 24 bits).

**Mapeo.-** Se refiere a explorar la red para identificar todos los dispositivos conectados y activos.

**Mbps.-** Medida de la cantidad de información que se mueve a través de una red o un enlace de comunicaciones en un segundo, medido en múltiplos de 1.048.576 bits.

**Métrica.-** Puede ser por ejemplo el número de saltos necesarios para ir de un nodo a otro. Aunque ésta no se trata de una métrica óptima ya que supone “1” para todos los enlaces, es sencilla y suele ofrecer buenos resultados. Otro tipo es la medición del retardo de tránsito entre nodos vecinos, en la que la métrica se expresa en unidades de tiempo y sus valores no son constantes sino que dependen del tráfico de la red.

**Modulación.-** Engloba el conjunto de técnicas para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea, protegiéndola de posibles interferencias y ruidos.

**Multiplexación.-** Combinación de dos o más canales de información en un solo medio de transmisión usando un dispositivo llamado multiplexor. El proceso inverso se conoce como demultiplexación.

**Multitrayectos.-** Fenómeno consistente en la propagación de una onda por varios caminos diferentes. Ello se debe a los fenómenos de reflexión y de difracción.

**Nodo.-** Un nodo puede ser cualquier dispositivo conectado a la red de computadoras. Estos dispositivos pueden ser computadoras, servidores, celulares, impresoras e incluso equipo

que no sea de cómputo pero que tenga la capacidad de conectarse a dicha red (por ejemplo, un refrigerador que pueda ser administrado desde otro nodo de esta red).

**Nómada.-** Cuando no tiene un territorio fijo como residencia permanente, sino que se desplaza con frecuencia de un lugar a otro.

**Obsoleto.-** Término utilizado para describir una computadora, un sistema, un hardware o software que es considerado viejo e inútil, y que generalmente ya no es fabricado o desarrollado.

**Oscilaciones.-** Variación, perturbación o fluctuación en el tiempo de un medio o sistema. Si el fenómeno se repite, se habla de oscilación periódica. Oscilación, en física, química e ingeniería, movimiento repetido de un lado a otro en torno a una posición central, o posición de equilibrio. El recorrido que consiste en ir desde una posición extrema a la otra y volver a la primera, pasando dos veces por la posición central, se denomina ciclo. El número de ciclos por segundo, o hercios (Hz), se conoce como frecuencia de la oscilación.

**Parámetros.-** Los parámetros son valores que necesita algún programa para ser ejecutado en una tarea específica, por lo general son enviados en variables.

**Polling.-** Hace referencia a una operación de consulta constante, generalmente hacia un dispositivo de hardware, para crear una actividad sincrónica sin el uso de interrupciones, aunque también puede suceder lo mismo para recursos de *software*.

**Portable.-** Característica que poseen los dispositivos que permiten ser trasladados fácilmente de un lugar a otro por sus reducidos tamaños y pesos. Ejemplos de dispositivos portables son *notebooks*, *subnotebooks*, *palmtops*, reproductores MP3, celulares, PDAs, etc.

**Preámbulo.-** Consiste en siete bytes, para establecer la sincronización de los relojes para la transmisión.

**QoS.-** Calidad de Servicio (*Quality of Service*) son las tecnologías que garantizan la transmisión de cierta cantidad de datos en un tiempo dado (*throughput*). Calidad de

servicio es la capacidad de dar un buen servicio. Es especialmente importante para ciertas aplicaciones tales como la transmisión de video o voz.

**Radiobase (BTS).**- Es la estación central dentro de una celda, conocida como BTS (*Base Transceiver Station*), realiza el enlace de RF a los terminales, transmite información entre la celda y la estación de control y conmutación, monitorea la comunicación de los abonados. Está conformado por: unidad de control, unidad de energía, antenas sectoriales (que utilizan métodos de diversidad para captar la mejor señal), TRAU (unidad encargada de adaptar y hacer la conversión de código y velocidad de las señales), y terminal de datos.

**Red Mesh.**- Las redes *Mesh*, o redes en malla, son aquellas redes en las que se mezclan las dos topologías de las redes *Wi-Fi*. Básicamente son redes con topología de infraestructura, pero que permiten unirse a la red a dispositivos que, a pesar de estar fuera del rango de cobertura de los AP o nodos, están dentro del rango de cobertura de algún dispositivo *Wi-Fi* que directamente o indirectamente esté dentro del rango de cobertura del AP; también permiten que los dispositivos *Wi-Fi* se comuniquen, independientemente del AP, entre sí, es decir, los dispositivos que actúan como emisores pueden no mandar directamente sus paquetes al AP sino que pueden pasárselos a otros dispositivos *Wi-Fi* para que lleguen a su destino, que caracteriza de las redes con topología *Ad-Hoc*.

**Redes de difusión.**- Las redes de difusión son aquellas en las que la señal emitida por un transmisor es recibida por cualquier terminal conectado a la red, por lo que todos los usuarios reciben la misma información a la vez.

**Redes inalámbricas.**- Suele utilizarse más para referirse a aquellas redes de telecomunicaciones en donde la interconexión entre nodos es implementada sin utilizar cables. Las redes inalámbricas de telecomunicaciones son generalmente implementadas con algún tipo de sistema de transmisión de información que usa ondas electromagnéticas, como las ondas de radio. La principal ventaja de las redes inalámbricas es que se eliminan metros y metros de cables, pero su seguridad debe ser más robusta.

**Resetear.**- Re-comenzar; comenzar de nuevo.

**Ruteo.-** Dirigir la información que se transmite a través de una red desde su origen hasta su destino, eligiendo el mejor camino posible a través de las redes que los separan.

**Sectorizada.-** La información es sectorizada en varias direcciones con la finalidad de mejorar la capacidad de cobertura.

**Simulaciones.-** Imaginar algo que se está haciendo pero no es real.

**Simulador.-** Un simulador es una aplicación informática que simula fielmente el comportamiento y propiedades reales de un producto o sistema, y de los elementos que interactúan con él: usuarios, eventos externos, otros productos o sistemas.

**Topología de red.-** Disposición física en la que se conecta una red de ordenadores. Si una red tiene diversas topologías se la llama mixta.

**Trama.-** Unidad de envío de datos. Viene a ser sinónimo de paquete de datos o Paquete de red, aunque se aplica principalmente en los niveles OSI más bajos, especialmente en el Nivel de enlace de datos.

**Trayectoria.-** Lugar geométrico de las posiciones sucesivas por las que pasa un cuerpo en su movimiento. La trayectoria depende del sistema de referencia en el que se describa el movimiento; es decir el punto de vista del observador.

**Uplink.-** Enlace o conexión de subida, del nodo a la rabiobase.

**VoIP.-** Voz sobre Protocolo de Internet, es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando un protocolo IP (*Internet Protocol*).

**Wi-Fi.-** es un sistema de envío de datos sobre redes computacionales que utiliza ondas de radio en lugar de cables, además es una marca de la *Wi-Fi Alliance* (anteriormente la WECA: *Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), la organización comercial que adopta, prueba y certifica que los equipos cumplen los estándares 802.11.

**WiMAX.**- Siglas de *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (interoperabilidad mundial para acceso por microondas). Es una norma de transmisión de datos usando ondas de radio.

# CAPÍTULO 1

## Introducción

### 1.1 Introducción

Las comunicaciones a nivel mundial no son un requerimiento son una necesidad, debido a que la gran mayoría de personas usan sistemas de comunicaciones, desde un simple teléfono celular hasta equipos de comunicaciones los cuales incluyen entre sus funciones GPS, *Wi-Fi*, conexión a su correo empresarial, los mismo que permitiendo leer y escribir un correo electrónico desde estos equipos, para lo cual se ha hecho necesario la evolución y la aparición de nuevos estándar de comunicaciones combinada con la convergencia, facilitando la portabilidad de los equipos, su reducido tamaño, a costos más accesibles.

La tecnologías inalámbricas, en un inicio era necesaria su conexión a una unidad central a la cual se conectaba todos los usuarios dentro de la cobertura de la radiobase, haciendo necesario una solución para la aquellos equipos que no se encontraba dentro de la cobertura de estas unidades centrales, apareciendo un nuevo concepto de redes, conocidas como redes *Mesh*, las misma que podían dar una mayor cobertura y sin la necesidad que todos los usuarios se conectaran a la unidad central, los usuarios fuera de cobertura se conectarán a un nodo cercano a ellos y de este modo gozarán de los servicios que le ofrece la unidad central. Estos servicios día a día han mejorado hasta llegar servicios de banda ancha, siendo por ello necesario la implementación de protocolos de enrutamiento, los cuales ayudarán a una mejor gestión de la red *Mesh*.

### 1.2 Objetivo

El objetivo del presente trabajo es determinar el comportamiento de las redes *Mesh* para un área metropolitana, a partir de simulaciones en el programa NCTUns que trabaja en sistemas operativos Linux en especial Fedora 9, con la finalidad de determinar la cobertura con la cual podemos contar, la tasa máxima de trasmisión, número máximo de

usuarios, e identificar los protocolos de enrutamiento que pueden ser aplicados a este estándar.

### **1.3 Organización del trabajo**

La tesis ha sido dividido en 5 capítulos:

- El capítulo 2, es una introducción a las redes *WMAN* Redes de Área Metropolitanas.
- El capítulo 3, detalla el estándar IEEE 802.16, tipos de topologías *Mesh* y protocolos de enrutamiento.
- El capítulo 4, describe las simulaciones, parámetros y escenarios simulados.
- El capítulo 5, permite realizar un análisis de resultado de las simulaciones.
- El capítulo 6, enuncia las conclusiones finales obtenidas a partir del presente trabajo.
- Anexo 1, instalación de NCTUns en distribuciones Debian.
- Anexo 2, instalación de NCTUns en distribuciones Red Hat.

## CAPÍTULO 2

### **WMAN Redes de área metropolitana**

#### **2.1 Introducción**

Las redes inalámbricas de área metropolitana *WMAN* también conocidas como bucle local inalámbrico (WLL, *Wireless Local Loop*), ofrecen una velocidad efectiva de 1 a 10 Mbps con un alcance de 4 a 10 kilómetros, algo muy útil para compañías de telecomunicaciones [1].

Se basan en el estándar IEEE 802.16 [2], un estándar de comunicación inalámbrica, que hace referencia a las tecnologías *WiMAX* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) [3].

*WiMAX* es un protocolo parecido a *Wi-Fi* [4], pero con características mayores con respecto a la cobertura y ancho de banda.

#### **2.2 ¿Qué es *WiMAX*?**

*WiMAX* significa interoperabilidad mundial para el acceso por microondas. Fue creado por las empresas Intel y Alvarion en el año 2002 y se lo ratificó por la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) con la denominación IEEE 802.16.

*WiMAX* es el nombre comercial de los equipos que cumplen con el estándar IEEE 802.16, con una garantizada interoperabilidad entre los dispositivos, los equipos que cumplan con esta certificación llevarán el logotipo que se muestra en figura 2.1.

##### **2.2.1 Objetivo de *WiMAX***

Uno de los objetivos *WiMAX* es proporcionar acceso a internet con una velocidad de 70Mbps en un rango de 50 kilómetros. Una de las ventajas es la de permitir conexiones



inalámbricas entre una radiobase (BTS) y miles de abonados sin la necesidad que tenga línea de vista directa a la estación (LOS). *WiMAX* sólo puede eludir obstáculos de pocos metros de altura como árboles y casas, sin poder superar montañas, edificios, etc.



**Figura 2. 1. Logo *WiMAX* certificado**

### **2.2.2 Principio de funcionamiento de *WiMAX***

En la tecnología *WiMAX* lo más importante es la estación radiobase, esta estación base es una antena central que se comunica con las antenas de los abonados, el método de comunicación es punto a multipunto.

### **2.2.3 *WiMAX* fijo y *WiMAX* móvil**

A partir de la revisiones que ha presentando el estándar IEEE802.16, ha permitido dividirlo en dos categorías, *WiMAX* fijo y *WiMAX* móvil.

*WiMAX* fijo, fue denominado como IEEE 802.16-2004, su conexión se realiza utilizando una antena colocada en el techo similar a una antena de televisión, funciona en la bandas de frecuencia de licenciadas de 2,5 GHz y 3,5 GHz y para banda no licencia de 5,8 GHz.

*WiMAX* móvil, denominada IEEE 802.16e, hace posible la conexión de equipos móviles clientes a internet, abriendo las puertas al uso de teléfonos móviles por IP incluyendo además servicios móviles de alta velocidad.

### **2.2.4 Calidad de servicio *WiMAX***

El estándar IEEE 802.16, apoya la calidad de servicio (*QoS*), garantizando que el servicio funcione cuando se lo está utilizando. Como es el caso de voz sobre IP (*VoIP*), en

otras tecnologías como *Wi-Fi*, este tipo de comunicación se hace ineficaz produciendo cortes por segundos de la comunicación.

### 2.2.5 Aplicaciones *WiMAX*

Una de las principales aplicaciones de *WiMAX*, es la de trabajar para brindar la cobertura de última milla, ayudando al acceso de internet de alta velocidad en sitios en donde las tecnologías DSL y líneas T1, no cubren.

La tecnología *WiMAX*, puede ser utilizada como una red de retorno entre dos redes locales inalámbricas como en el caso de las que emplean el estándar IEEE 802.11. El estándar IEEE 802.16 permite la conexión de dos o más radiobases para crear una red en malla, conocida como red *Mesh* [5].

### 2.3 Redes *Mesh*

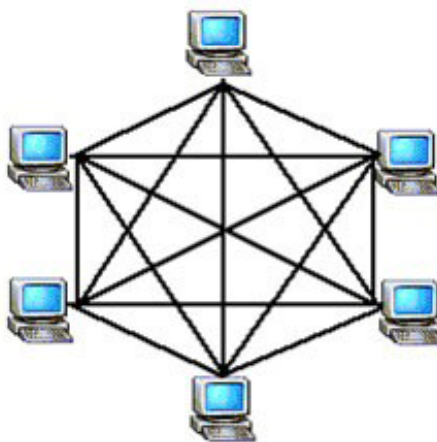
Las redes *Mesh*, son conocidas como redes de malla, sus principales aplicaciones fueron en comunicaciones militares, que servían para comunicarse entre los mandos y las unidades que aunque estaban lejos formada una cadena pasando el mensaje hasta llegar a su destino, en las redes de malla se mezclan dos topologías de las redes *Wi-Fi*, la primera las redes con topología de infraestructura, en el cual existe un nodo central, *Access Point*, que sirve de enlace para todos los demás dispositivos. Este nodo sirve para encaminar las tramas hacia una red convencional o hacia redes distintas; para poder establecer la comunicación, todo lo nodos deben estar dentro de la zona de cobertura del *Access Point* (*AP*) [6], y la segunda en la que dos dispositivos *Wi-Fi*, puede comunicarse independientes del *AP*, enviando información entre los nodos sin la necesidad que dicha información pasen por el *AP*, este tipo de topología es conocida como *Ad-Hoc* [7].

Las redes *Mesh* son básicamente redes con topología de infraestructura que permiten unirse a la red a dispositivos que a pesar de estar fuera del rango de cobertura de los *AP* están dentro del rango de cobertura de alguno de los nodos que directamente o indirectamente está dentro del rango de cobertura de un *AP*.

Las redes *Mesh* solucionan dos problemas al intentar desplegarla en un área densamente poblada; la interferencia resultante en bandas libres y la necesidad que todos los nodos tengan línea de vista con la radiobase. Una ventaja de la redes *Mesh* es la de transmitir con una menor potencia en la estación base logrando alcanzar mayores velocidades, facilitando la distribución del acceso a Internet en varios puntos.

Las redes de *Mesh* emplean dos tipos de arreglos conocidos como topología total y topología parcial, en la primera cada uno de los nodos son conectados directamente a los otros y en la segunda topología los nodos están conectados solo a algunos de los demás nodos. Para hacer esto posible es necesario contar con un protocolo de enrutamiento, el cual permitirá transmitir la información hasta su destino con el menor número de saltos, además de no presentar mayor inconveniente cuando se produce falla en unos de los nodos con respecto al resto de la red.

En la figura 2.2, se muestra una red *Mesh* en la que interviene seis nodos, observándose que cada nodo establece comunicación con todos los demás nodos.



**Figura 2. 2. Red Mesh**

Un escenario típico de una red *Mesh*, en una zona urbana, como la mostrada en la figura 2.3, donde los nodos se encuentran conectado entre sí por una antena, sin olvidar que pueden intervenir nodos móviles como puede ser el caso de vehículos, laptops, etc [8].

## 2.4 Simulador y Emulador NCTUns

NCTUns, es un simulador y emulador de redes, capaz de simular diferentes protocolos utilizados en redes IP tanto cableados como inalámbricos, fue creado por el Profesor S.Y. Wang, en septiembre de 1999, cuando él estaba estudiando su doctorado. NCTUns ofrece ventajas con respecto a otros simuladores de red tales como ns-2 [9] y OPNET [10].

Terminado el doctorado el Profesor S.Y, Wang, regresó a su país natal Taiwán, convirtiéndose en profesor del Departamento de Ciencias de la Computación, en la Universidad Nacional Chiao Tung, desde entonces ha venido trabajando con sus alumnos en el diseño y aplicación del simulador NCTUns.

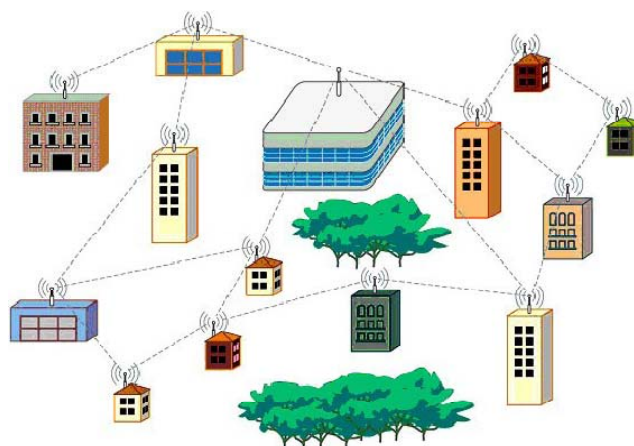


Figura 2. 3. Red Mesh urbana

### 2.4.1 Entorno de Simulación NCTUns

El entorno de simulación de NCTUns [11], para redes *Mesh* de área metropolitana cuenta con estación base (BTS) y estación suscriptoras (ES), en las cuales es posible la configuración de parámetros como *Fading Variance*, *Path Loss Exponent*, *Shadowing Standard Deviation*, *Close-in Reference Distance*, *System Loss* y *Ricean Factor K*; implementándose la frecuencia, sensibilidad, potencia de transmisión, el tipo de tráfico, y, *Shadowing Standard Deviation*.

## CAPÍTULO 3

### Estándar IEEE 802.16

#### 3.1 Introducción

El estándar IEEE 802.16 es un sistema *BWA* (*Broadband Wireless Access*) en el cual se basan las redes de área metropolitana, creado por Intel y Alvarion, publicado inicialmente el 8 de abril del 2002. El estándar hace referencia a la tecnología *WiMAX* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), es un estándar de transmisión inalámbrica de datos que proporciona accesos concurrentes en áreas de hasta 48 km de radio y a velocidades de hasta 70 Mbps, utilizando tecnología que no requiere visión directa con la radiobase, trabajan en bandas de frecuencia licenciada, de 10 a 66 GHz, y no licenciada, por debajo de 11 GHz y de 5 a 6 GHz; el estándar se encuentra operando en la capa de enlace de datos (*MAC*) y en la capa física (*PHY*) del modelo OSI [12].

La capa *MAC* de la tecnología *WiMAX* soporta diferentes interfaces inalámbricas y está orientada a la conexión, mientras que la capa *PHY* depende del uso del espectro y de las regulaciones existentes, soporta multiplexación TDD y FDD.

#### 3.2 Capa *MAC*

La capa *MAC* (*Media Access Control*), controla la transmisión de paquetes de una tarjeta de interfaz de red (*NIC*) a otro en un canal de medio compartido como son el caso de las topologías PMP (Punto-Multipunto) y *Mesh* (Malla). Está compuesta por tres subcapas: *Security Sublayer*, *MAC Common Part Sublayer* y *Service-Specific Convergence Sublayer*. La figura 3.1 nos permite observar el modelo de referencia del estándar IEEE 802.16, compuesto por la capa física y la capa *MAC*, con sus respectivas subcapas.

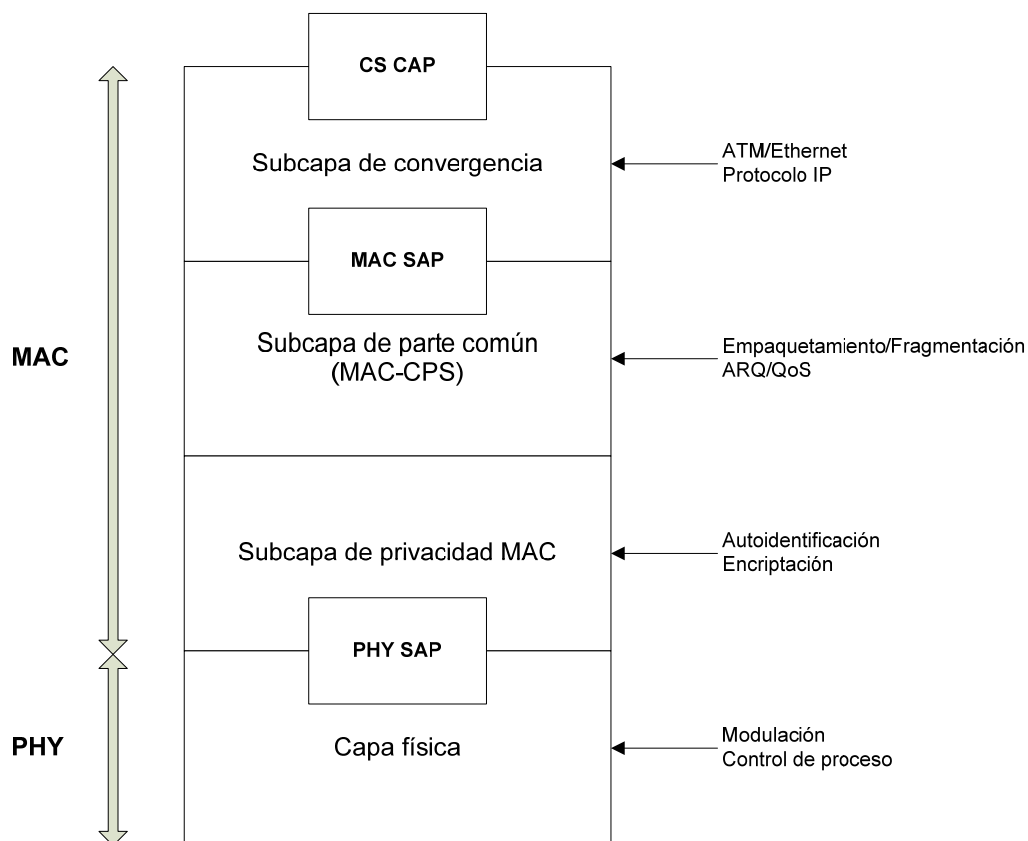


Figura 3. 1. Modelo de Referencia del estándar IEEE 802.16

### 3.2.1 Topología Punto-Multipunto

Esta topología de red: utiliza una estación base (BTS) centralizada y una antena sectorizada, la cual maneja múltiples sectores independientes simultáneamente. Dentro de un mismo canal de frecuencia y un sector de antena, solo existe una BTS transmitiendo, sin la necesidad de coordinar con las demás BTS, excepto en la multiplexación del tiempo. La transmisión de tipo *downlink* es generalmente de tipo *broadcast* y la transmisión de tipo *uplink* se maneja bajo demanda dependiendo de la clase de servicio.

La capa MSC (*Mobile Switching Center*) esta orientada a la conexión. Para el mapeo de servicios relacionados a las estaciones suscriptoras (ES) y asociada a los diferentes niveles de calidad de servicio (*QoS*), todas las comunicaciones de datos están en el contexto de una conexión.

El flujo de servicio es suministrado en el momento que se instala una ES en el sistema y justo después de haber sido registrado, asociando el flujo de servicio con

peticiones de ancho de banda. El flujo de servicios define los parámetros de *QoS* de *PDU* (*packet data units*) que son intercambiados durante la conexión.

### 3.2.2 Topología *Mesh*

La topología *Mesh*, es aquella en la cual la comunicación se la realiza entre los diferentes nodos, y no solamente entre el nodo y la estación base. En este tipo de conexión las operaciones son realizadas de dos diferentes formas, distribuida y centralizada.

**Distribuida**, en este tipo de conexión todos los nodos deben coordinar con los demás nodos, la transmisión de información, con la finalidad de evitar colisiones de los datos y realizar un control de tráfico, su respectivo estado (recursos disponibles, peticiones y concesiones), será enviado por difusión (*broadcast*) a todos sus vecinos.

**Centralizada**, los recursos son asignados de una manera más concentrada, esto se debe a que la estación base *Mesh*, recopila de un sector varias peticiones, otorgando los recursos necesarios para cada enlace, sea *downlink* o *uplink*, y comunicando a las demás estaciones del sector estas decisiones.

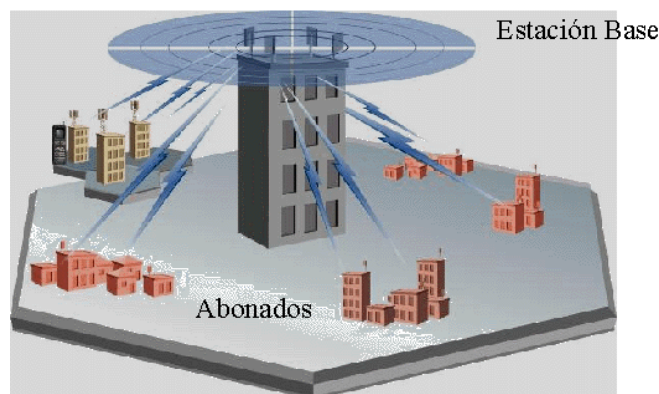
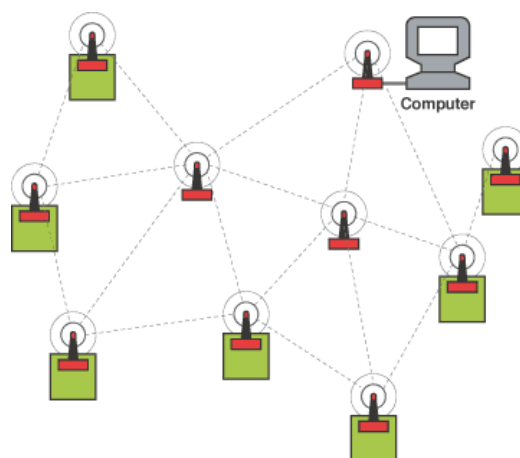


Figura 3. 2. Topología Punto-Multipunto

### 3.2.3 Security Sublayer

La subcapa de seguridad presta los servicios de autenticación, codificación, decodificación, intercambio seguro de claves y cifrado, permitiendo a los usuarios contar con servicios de banda ancha seguros a través del cifrado de conexiones y mantener protegido a los operadores de conexiones no autorizadas forzando el cifrado.



**Figura 3. 3. Topología Mesh**

### **3.2.4 MAC Common Part Sublayer (MAC CPS)**

La subcapa parte común de subcapa *MAC*, esta completamente orientada a conexión, es el *CORE* de toda la capa *MAC*, provee los servicios de acceso al sistema, asignación de ancho de banda, administración de canal, establecimiento y mantenimiento de la conexión. Cada uno de los cuales están asociados a unos parámetros de *QoS*, existiendo cuatro tipos de servicios:

- Concesión no solicitada (*UGS*)
- *Polling* en tiempo real (*rtPS*)
- *Polling* en tiempo no real (*nrtPS*)
- Mejor Esfuerzo (*BE*)

### **3.2.5 Service-Specific Convergence Sublayer (CS)**

La subcapa de convergencia específica del servicio, se encarga de transformar los datos de la red externa y pasarlos *MAC CPS* convertidos en *service data units (SDU)*, los cuales son datos que son transferidos entre capas adyacentes, y se encuentra sobre la *MAC CPS*, utilizando los servicios provistos por ésta.

## **3.3 Capa física (PHY)**

La capa física del estándar IEEE 802.16, está constituido por cinco definiciones con las cuales se satisfacen las necesidades de las diferentes aplicaciones.



- *WirelessMAN-SC PHY*
- *WirelessMAN-SCa PHY*
- *WirelessMAN-OFDM PHY*
- *WirelessMAN-OFDMa PHY*
- *WirelessHUMAN PHY*

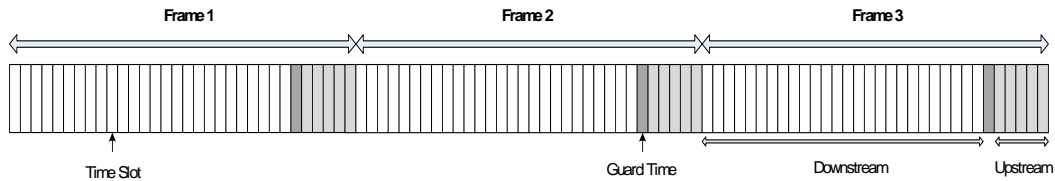


Figura 3. 4. Tramas y Ranuras de tiempo por multiplexación TDD

### 3.3.1 *WirelessMAN-SC PHY*

La capa física *WirelessMAN-SC* está diseñada para las frecuencias comprendidas entre 10 GHz y 66 GHz, el tipo de multiplexación es *TDD (Time Division Duplex)* o *FDD (Frequency Division Duplex)*, en ambos casos utilizan el formato de transmisión *burst* cuyos mecanismos de *framing* soportan *burst* adaptativo, en el cual los parámetros de transmisión, incluyendo los esquemas de modulación y codificación, pueden ser ajustado individualmente para estación suscriptor en la base de trama por trama. El caso de *FDD* soporta estaciones suscriptoras *full duplex* y *half dúplex*.

El canal de *uplink* está basada en la combinación de *TDMA (Time Division Multiple Access)* y *DAMA (Demand Assignment Multiple Access)*, y está dividido en un número de *time slot* asignando para los usuarios, controlado por la capa *MAC* en la estación base.

La figura 3.4, ilustra la multiplexación por división de tiempo, la estación base (BTS), envía tramas periódicamente; cada trama contiene *time slots*, las primeras son para el tráfico de *downlink*, luego de éste se encuentra un tiempo de protección o guarda, este tiempo es utilizado por las estaciones para cambiar de dirección; y al final se encuentra los *time slots* utilizados para el tráfico de *uplink*.

La capa física de *downlink* incluye una subcapa de convergencia de transmisión que inserta un *byte* puntero ayudando a identificar el inicio de la *MAC PDU*, los *bytes* que

proviene de la subcapa de convergencia de transmisión aleatorizados y codificados con FEC.

Los canales de frecuencia se encuentran entre los 20 y 28 MHz; dependiendo de la técnica de modulación utilizada, los cuales pueden ser QPSK, 16-QAM ó 64 QAM, el ancho de banda de transmisión está entre los 32Mbps y los 134.4 Mbps.

### **3.3.2 *WirelessMAN-SCa PHY***

Esta basada en una tecnología de una sola portadora para aplicaciones NLOS, para bandas de frecuencias que se encuentra por debajo de los 11GHz. En el caso de las bandas que requieren de licencia el ancho de banda del canal debe ser igual al ancho banda asignada dividido entre una potencia de dos ( $2^n$ ) sin ser menor a 1.25 MHz.

Dentro de los elementos que incluye la PHY tenemos:

- Esquemas de multiplexación TDD y FDD.
- *Uplink* TDMA
- *Downlink* TDD o TDMA
- Modulación adaptativa por bloqueo y codificación de FEC, Reed-Solomon GF(256) [13], código convolucional [14] y código de bloque [15], para uplink y downlink.
- Estructura de framing que mejora la ecualización y el rendimiento de la estimación de canal a través de NLOS y ambientes de ensanchamiento de retardos extendidos.
- Granularidad en unidades PS en tamaño de burst.
- FEC concatenado usando codificación Red-Solomon y TCM con interleaving opcional.
- Opciones adicionales de BTC y CTC FEC.
- Opción de No-FEC usando control de error ARQ
- Opción de transmisión con diversidad STC (space time coding).
- Modos robustos para operación de baja CINR.
- Seteo de parámetros de mensajes MAC/PHY que facilitan la implementación opcional AAS.

El tipo de multiplexación que debe soportar debe ser TDD o FDD con modulaciones BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM y 256-QAM.

### **3.3.3 *WirelessMAN-OFDM PHY***

Como su nombre lo indica se basa en la modulación OFDM para ambientes NLOS y para bandas de frecuencias por debajo de los 11 GHz. Es utilizado primordialmente para los accesos fijos como residencias y empresas. Los símbolos de OFDM están conformados por cierto número de subportadoras, los cuales depende de la FFT (*Fast Fourier Transform*), las modulaciones utilizadas son BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM, ésta última es opcional en bandas no licenciadas.

### **3.3.4 *WirelessMAN-OFDMa PHY***

Está diseñada por enlaces de tipo NLOS en bandas de frecuencia que se encuentra por debajo de los 11GHz, con canales de bandas licenciadas de ancho igual al ancho de banda asignado dividido entre alguna potencia de dos ( $2^x$ ), si ser menor a 1 MHz, las modulaciones que se utilizan son QPSK, 16-QAM ó 64-QAM

### **3.3.5 *WirelessHUMAN PHY***

Está diseñado para canales de frecuencias de 10 y 20 MHz, separadas 5MHz, en las bandas de frecuencias de 5 a 6 GHz correspondientes a Estados Unidos y Europa [16].

## **3.4 Estructura de la trama IEEE 802.16**

La trama empieza con un encabezado genérico, seguido por una carga útil y una suma de verificación (CRC) opcional, como se muestra en la figura 3.5. La carga útil no es necesaria en el caso de las tramas de control.

La suma de verificación es opcional, la corrección de errores se la realiza en la capa física además que nunca se realiza una retrasmisión de tramas en tiempo real, haciendo innecesaria la suma de verificación.

La figura 3.5 (a), nos permite observar los campos del encabezado entre los que encontramos:

EC, indica si la carga útil se encuentra encriptada.

Tipo, identifica el tipo de trama, su principal función es la identificar si existe empaquetamiento y fragmentación.

CI, indica la presencia o ausencia de suma de verificación final.

EK, permite conocer el tipo encriptación, si se está o no utilizando alguna.

Longitud, proporciona la longitud de la trama incluyendo la del encabezado.

ID de conexión, identifica la conexión a la cual pertenece la trama.

CRC de encabezado, es la suma de verificación del encabezado, utiliza el polinomio  $x^8 + x^2 + x + 1$ .

La figura 3.5 (b), muestra un tipo de encabezado para tramas que solicitan ancho de banda, se mantiene el mismo encabezado genérico con la diferencia que esta trama inicia con un bit 1 y no con el bit 0, y los bits segundo y tercero forman un número de 16 bits, el cual indica la cantidad de ancho de banda necesario para transmitir el número de bytes especificados. Estas tramas no transmiten mayor información útil y menos aun un CRC de la trama completa.

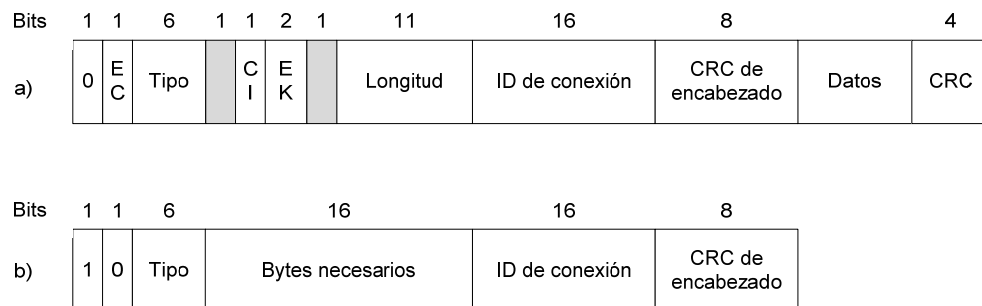
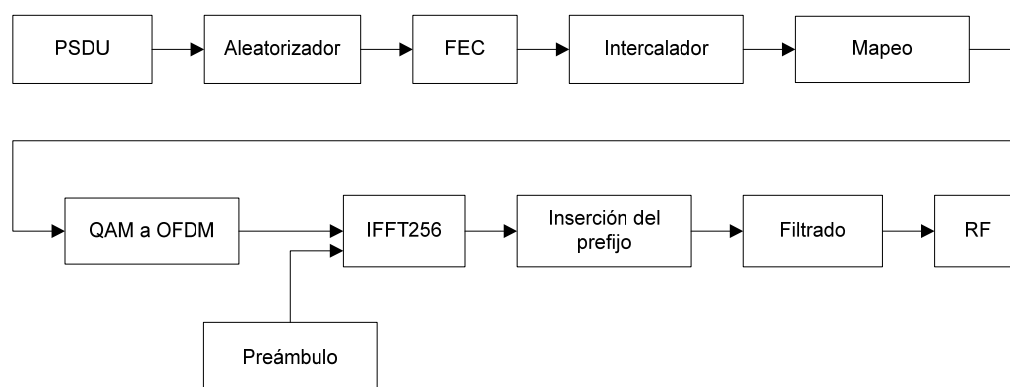


Figura 3. 5. a) Trama genérica b) Trama de solicitud de ancho de banda.

### 3.5 Esquema de transmisión del estándar IEEE 802.16

La figura 3.6, se muestra el diagrama en bloques del esquema de transmisión del estándar IEEE 802.16, constituido por un bloque aleatorizador, bloque FEC, bloque

intercalador, bloque para mapeo de datos y de símbolos, bloque para la transformación de símbolos, bloque para insertar el prefijo.



**Figura 3. 6. Diagrama en bloques del esquema de transmisión.**

Aleatorizador, permite distribuir la energía de los datos sobre el espectro disponible.

FEC, corrige los errores; se encuentra compuesto de un bloque de codificación *Red-Solomon* de concatenación convolucional.

Intercalador, suministra diversidad temporal y minimiza el efecto de las ráfagas de error sin agregar encabezado extra.

Mapeo, mapea los datos de información a los símbolos del esquema de modulación utilizado.

QAM a OFDM, mapea los símbolos dependientes del esquema de modulación a los símbolos OFDM.

IFFT256, realiza la transformación de símbolos OFDM del dominio de la frecuencia al dominio del tiempo.

Inserción de prefijo, inserta el prefijo cíclico requerido para optimizar la transmisión en un ambiente en presencia de multitrayectos.

Filtrado y RF, permite realizar la conformación y acondicionamiento de la señal para su radiación.

### 3.6 IEEE 802.16

Se trata de la especificación para redes inalámbricas de acceso metropolitano, en bandas de frecuencia superiores a los 10 GHz, fue publicado en diciembre del 2001 y en la actualidad se encuentra obsoleto, fue diseñado para conexiones punto a punto.

#### 3.6.1 IEEE 802.16a

El estándar IEEE 802.16a utiliza una forma de onda de 256 puntos FFT OFDM, se lo publicó en enero del 2003, actualmente su estado es obsoleto, trabaja en bandas de frecuencia de 2 a 11 GHz licenciadas como no licenciadas; consta de tres opciones de modulación:

- OFDM con 256 sub-portadoras, esta opción es la única soportada en Europa por la ETSI, en el que su rival HyperMAN está siendo absorbido por WiMAX.
- OFDMA con 2048 sub-portadoras.
- Una forma hecha para operadoras en la que consta de una única portadora y en la que se cree que puede solucionar problemas de multiplexado.

Cabe destacar del estándar IEEE 802.16a la modulación adaptativa, permitiendo prestar diferentes velocidades de transmisión, la misma que cambiaban de forma instantáneas optimizando el espectro, el estándar soporta tanto FDD como TDD, permitiendo la interoperabilidad con otros dispositivos inalámbricos como con dispositivos celulares.

Por ser un sistema punto multipunto en el enlace de tipo *uplink*, el esquema utilizado es TDM, el mismo que viene determinado por la estación base que lo propaga a todas las estaciones suscriptoras; en el caso del enlace de *downlink*, no se hace necesario ningún tipo de mecanismo de acceso múltiple. El enlace de *downlink* se lo organiza por la multiplexación por división en el tiempo, agrupando los mensajes con el mismo esquema de transmisión.

El estándar tiene definidos cuatro métodos de reserva de ancho de banda, para cuatro tipos de servicios diferentes:

- Servicio garantizado no solicitado, la estación base asigna periódicamente espacio disponible en el enlace *uplink* para cada conexión de este tipo que se haya establecido.
- Servicio con sondeo en tiempo real, diseñado para el soporte de conexiones en tiempo real que generen paquetes de tamaño variable según intervalos de tiempo constantes.
- Servicio de sondeo en tiempo diferido, diseñado para el soporte de conexiones que no presentan requisitos de tiempo real.
- Servicio *best effort*, pensado en el tráfico de este tipo, como podría ser el acceso a Internet.

### 3.6.2 IEEE 802.16b

La extensión “b” del estándar IEEE 802.16, aporta una gran cantidad de servicios, trabaja en bandas de frecuencia de 10 a 60 GHz, se lo anexó al estándar IEEE 802.16a, en la actualidad es obsoleto.

El estándar 802.16b, incorpora la capacidad que sin línea de vista (NLOS) transmitiendo con baja distorsión debido a los edificios, lluvia o vehículos, este estándar prioriza los diferentes tipos de tráfico, mejorando las características nativas de calidad de servicio (QoS), reservando un ancho de banda apropiado, adaptando la capa MAC de acuerdo al grado de servicio adecuado para cada aplicación.

Este estándar realizó cambios en la parte de OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*): mejor soporte de múltiple entrada múltiple salida (*MiMo*), cambios en preámbulo (*preamble*), cambios en portadoras piloto, cambios en el formato de modulación para FCH (*Frame Control Header*) y en la parte de OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*): cambios en la sub-canalización.

### 3.6.3 IEEE 802.16c

El estándar IEEE 802.16c trabajó sobre un rango de frecuencias de 10 a 60 GHz sin licencia, fue publicado en el año 2002, corrigiendo algunos errores de la versión inicial, realizando pruebas y ensayos, aumentando la interoperabilidad y la seguridad entre equipos de diferentes fabricantes.

### 3.6.4 IEEE 802.16d

El estándar IEEE 802.16d, también es conocido como estándar IEEE 802.16-2004, es una revisión que incorpora a los estándares 802.16, 802.16a y 802.16c, fue publicado en octubre del 2004, se encuentra actualmente activo, teóricamente puede soportar tasas de transmisión de 70 Mbps en condiciones ideales aunque el rendimiento real podría superar los 40 Mbps.

### 3.6.5 IEEE 802.16e

El estándar IEEE 802.16e, conserva las técnicas actualizadas en el *WiMAX* fijo, a las cuales se agrega un soporte robusto para una banda ancha móvil. Basada sobre la tecnología de OFDM soporta 2000, 1000, 512 y 128 portadoras. El sistema de OFDM permite que las señales sean divididas en muchos subcanales de baja velocidad para aumentar la resistencia a la interferencia multidireccional. Por ejemplo, un canal de 20MHz es subdividido en 1000 canales y se podría utilizar una modulación tal como la modulación de la amplitud en cuadratura de 64 niveles (64-QAM) [17].

### 3.6.6 IEEE 802.16f

Es un estándar que aún no está confirmado fue creado en el año 2005 el cual define la MIB (Base para la Gestión de la Información) para las capas *MAC* y *PHY*, además un procedimiento para crear un estándar de Gestión de Red para sistemas basados en IEEE 802.16 [18].

### 3.6.7 IEEE 802.16j

La revisión final fue publicada el 12 de junio del 2009 se define *Mobile Multihop Relay* (MMR), la idea principal de MMR es la de permitir que la radiobase *WiMAX* que no tiene una conexión de *backhaul* se comunique con la radiobase; con la disminución de ancho de banda que los usuarios emplean en la transmisión de paquetes, permitiendo de esta forma el ahorro de costos y ampliación de cobertura en lugares en donde por economía o por factibilidad técnica no es posible hacerlo.



### 3.6.8 IEEE 802.16k

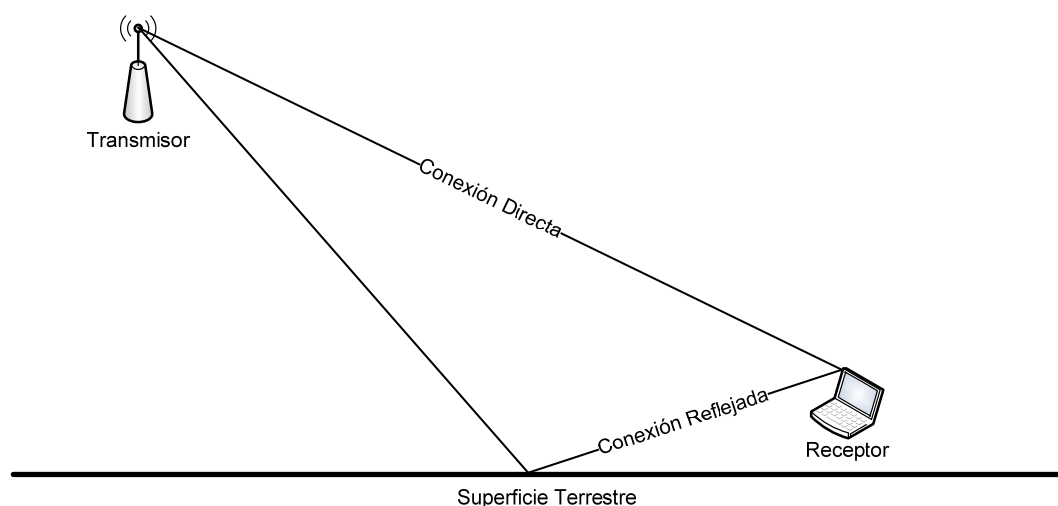
Fue publicado el 14 de agosto del 2007, en un estándar para redes de área local y área metropolitana, este estándar trabaja en la capa *MAC*, *MAC (Medium Access Control) bridges - bridging* del estándar IEEE 802.16

En las tablas 2.1 y 2.2 se encuentra un resumen de la historia y las principales características del protocolo.

### 3.7 Modelo de propagación *Two Ray Ground*

El modelo de propagación *Two Ray Ground*, ilustrado en la figura 2.7, considera dos rutas al equipo receptor, la primera que es la conexión directa al receptor y la segunda que es la que refleja en la superficie terrestre, a este modelo no lo podemos considerar como el más adecuado para asemejarse a la realidad ya que pueden existir varias rutas al receptor.

El modelo de propagación *Two Ray Ground* se utilizó para *WMAN*, ya que da buenos resultados a largas distancias, en caso de distancias cortas presentan oscilaciones constructivas y destructivas de las rutas que intervienen en la comunicación.



**Figura 3. 7. Modelo de propagación *Two Ray Ground*.**

Tabla 3. 1. Historia del estándar IEEE 802.16

Estándar	Fecha	Características
IEEE802.16	Dic. 2001	Utiliza espectro licenciado en el rango de 10 a 66 GHz, necesita línea de visión directa, con una capacidad de hasta 134 Mbps en distancias de 3.22 a 8.05 kilómetros. Soporta calidad de servicio (QoS).
IEEE802.16c	2002	Ampliación del estándar 802.16 para definir las características y especificaciones en la banda de 10-66 GHz.
IEEE802.16 <sup>a</sup>	Ene. 2003	Ampliación del estándar 802.16 a bandas de 2 a 11 GHz, con sistemas NLOS y LOS, y protocolo PTP y PTMP. Mayor capacidad OFDM
IEEE802.16-2004	2004	Compendio de las anteriores y corrección de errores. Revisión del 802.16 y 802.16a para añadir los perfiles aprobados por el WiMAX Forum.
IEEE802.16e	2005	Extensión del 802.16 que incluye la conexión de banda ancha nómada para elementos portables.
IEEE802.16f	2005	Define la MIB (Base para la Gestión de la Información) para las capas MAC y PHY. Define además un procedimiento para crear un estándar de Gestión de Red para sistemas basados en IEEE 802.16.
IEEE802.16j	2009	Define <i>Mobile Multihop Relay</i> (MMR) suministrando mejoras para las redes <i>Mesh</i> .
IEEE802.16k	2007	<i>MAC (Medium Access Control) bridges - bridging</i> IEEE 802.16

### 3.8 Tráfico CBR (*Constant Bit Rate*)

Es un término utilizado en Telecomunicaciones, relaciona la calidad de servicios con tasa de bit. Cuando hablamos de códecs, la codificación con tasa de bits constante implica que la tasa de salida del codificador de los datos es constante. CBR es muy útil para flujo de datos multimedia con canales de capacidad limitada. Sin embargo, CBR no es la mejor opción para almacenaje ya que no asignará suficientes bits para las secciones “complicadas” (resultantes de la degradación de la calidad) y por el contrario gastará bits innecesarios en secciones “simples”.

Muchos esquemas de codificación, como por ejemplo, la codificación *Huffman* producen códigos de longitud variable lo que dificulta el uso de un CBR. Esto se soluciona parcialmente variando la cuantificación y por tanto la calidad y se consigue solucionar el problema por completo usando bits de relleno (*padding*). Otra estrategia consiste en almacenar la tasa de bits en un buffer y liberar la información con una tasa de bits constante; este método es conocido como *leaky bucket* [19].

**Tabla 3. 2. Características del estándar IEEE 802.16**

	<b>802.16</b>	<b>802.16a</b>	<b>802.16e</b>
<b>Espectro</b>	10 – 66 GHz	< 11 GHz	<6 GHz
<b>Funcionamiento</b>	Línea de vista	Sin línea de vista (NLOS)	Sin línea de vista (NLOS)
<b>Tasa de Bit</b>	32 – 134 Mbits/s con canales de 28 MHz	Hasta 75 Mbit/s con canales de 20 MHz	Hasta 15 Mbit/s con canales de 5 MHz
<b>Modulación</b>	QPSK, 16QAM y 64 QAM	OFDM con 256 subportadoras, QPSK, 16 QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM y 64 QAM
<b>Movilidad</b>	Sistema fijo	Sistema fijo	Movilidad pedestre
<b>Ancho de banda</b>	20, 25 y 28 MHz	Seleccionable entre 1, 25 y 20 MHz	Igual que 802.16a con los canales de subida para ahorrar potencia
<b>Radio de celda típico</b>	2 – 5 km	5 - 10 km (Alcance Máximo a unos 50 km)	2 – 5 km

### 3.9 Protocolos de enrutamiento

Los protocolos de enrutamiento, proporcionan distintos mecanismos que permiten proporcionar  $QoS$ , en función de la red metropolitana que se desea implementar, en los cuales se tomaran en cuenta la movilidad, alcance y capacidad de las baterías de los equipos.

Las propiedades de auto-configuración y auto-reparación de las rutas que son utilizadas en la redes *Mesh* son proporcionadas por los distintos protocolos de enrutamiento.

Estos protocolos de enrutamiento puede ser reactivos y proactivos, representados por AODV (*Ad-hoc On-demand Distance Vector Routing Protocol*) [20] y OLSR (*Optimized Link State Routing*) [21] respectivamente.

**Reactivos**, las rutas son creadas sobre la demanda y se mantendrá solamente mientras esté activa, reduciendo los gastos generales de direccionamiento, existiendo una latencia inicial mientras establece la ruta necesaria para la conexión entre los nodos.

**Proactivo**, están caracterizados por chequeos proactivos del estado del enlace y actualización de tablas de enrutamiento, lo cual lleva a una alta complejidad y carga de CPU, una de las ventajas de estos protocolos son su alto rendimiento al contrario que los protocolos reactivos.

Entre los protocolos de ruteo que se utilizan para redes de área metropolitana tenemos tenemos B.A.T.M.A.N. (*Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking*), TORA (*Temporally Ordered Routing Algorithm*) y PWRP (*Predictive Wireless Routing Protocol*)

#### 3.9.1 B.A.T.M.A.N. (*Better Approach To Mobile Ad-hoc Networking*)

B.A.T.M.A.N. es un protocolo de ruteo proactivo para redes *Mesh*, incluyendo las redes móviles. El protocolo mantiene proactivamente información sobre la existencia de todos los nodos en la malla, que son accesibles a través de enlaces de comunicación de uno o múltiples saltos.

Los protocolos de enrutamiento clásicos no son típicamente idóneos para redes *Mesh* inalámbricas, debido a que estas se encuentran poco estructuradas, en un constante cambio de topología, basadas en un medio intrínsecamente poco fiable.

La estrategia de B.A.T.M.A.N. es determinar para cada destino en la malla un vecino de un salto, el cual puede ser utilizado como *Gateway* para comunicarse con el nodo de destino. Para poder realizar un ruteo de múltiple salto basado en IP, la tabla de ruteo de un nodo debe contener un *Gateway* para cada host o ruta de red. Al algoritmo B.A.T.M.A.N. le importa aprender sobre el mejor próximo salto para cada destino. No hay necesidad de encontrar o calcular la ruta completa, esto posibilita una implementación muy rápida y eficiente.

B.A.T.M.A.N. toma en consideración los desafíos comunes, en redes inalámbricas y en las redes tipo *Mesh* en particular, realizando un análisis estadístico de la pérdida de paquetes del protocolo y velocidad de propagación, y no depende del estado o información topológica de otros nodos. En vez de confiar en metadatos contenidos en el tráfico recibido del protocolo, el cual podría estar retrasado, desactualizado o perdido, las decisiones de ruteo están basadas en el conocimiento sobre la existencia o falta de información. Los paquetes del protocolo B.A.T.M.A.N. contienen sólo una limitada cantidad de información y por lo tanto son muy pequeños. La pérdida de paquetes del protocolo a causa de enlaces no confiables no son contados con redundancia, pero son detectados y utilizados para mejores decisiones de ruteo. B.A.T.M.A.N. elige la ruta más confiable hacia el próximo salto en la decisión de ruteo de nodos individuales. Este acercamiento ha mostrado en práctica que es confiable y libre de *loops* (búcles).

El enfoque del algoritmo B.A.T.M.A.N. es la de dividir la información sobre el mejor camino entre los nodos de la malla y los nodos participantes. Cada nodo percibe y mantiene sólo la información sobre el próximo mejor salto hacia todos los otros nodos. De ahí la necesidad de un conocimiento global acerca de los cambios en la topología local se convierte en innecesaria. Adicionalmente, un mecanismo de inundación basado en eventos previene la creación de información topológica contradictoria (la causa usual de los *loops* de ruteo) y limita la cantidad de mensajes de topología que inundando la red (así evita la sobrecarga del tráfico de control). El algoritmo está diseñado para tratar con redes que están basadas en enlaces no confiables.

El algoritmo del protocolo B.A.T.M.A.N. puede ser descripto, simplificada mente, de la siguiente manera. Cada nodo transmite mensajes de *broadcast*, llamados Mensajes Originadores (OGM), para informar a nodos vecinos sobre su existencia. Estos vecinos están retransmitiendo los OGMs de acuerdo a reglas específicas para informar a sus vecinos sobre la existencia del nodo que origino éste OGM, y así sucesivamente. De ésta manera la red es inundada con los mensajes originadores. Los OGM son pequeños, el típico tamaño es 52 bytes incluyendo el sobreencabezado IP y UDP. Los OGM contienen al menos la dirección del originador, la dirección del nodo retransmitiendo el paquete, un TTL y un número de secuencia.

Los OGM que siguen un camino donde la calidad del enlace inalámbrico es pobre o saturado, sufrirán la pérdida de paquetes o retraso en su camino a través de la red, por lo que los OGMs que viajan en buenas rutas se propagarán más rápida y fiablemente.

Para poder decir si un OGM ha sido recibido una o más veces, contiene un número de secuencia dado por el originador del OGM. Cada nodo retransmite cada OGM recibido al menos una vez y sólo aquellos recibidos del vecino que ha sido identificado como el actual mejor próximo salto (el mejor vecino posicionado) hacia el originador del OGM.

De ésta forma los OGMs son inundados selectivamente a través de la malla e informan a los nodos receptores sobre la existencia de otros nodos. Un nodo X aprenderá sobre la existencia de un nodo Y en la distancia al recibir sus OGMs, cuando los OGMs del nodo Y son retransmitidos por su vecino de un salto. Si el nodo X tiene más de un vecino, puede decir por el número de mensajes originadores que recibe más rápido y confiable por uno de sus vecinos de un salto; cual vecino tiene que elegir para enviar datos al nodo distante.

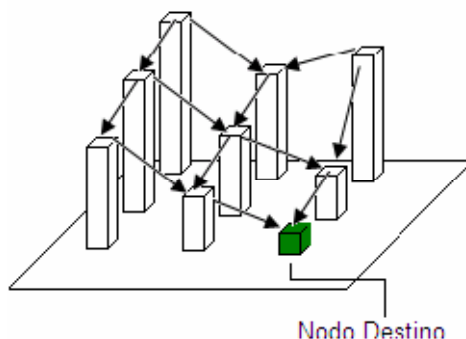
Luego el algoritmo selecciona a éste vecino como el actual mejor próximo salto hacia el originador del mensaje, y configura su tabla de ruteo respectivamente [22].

### **3.9.2 TORA (*Temporally Ordered Routing Algorithm*)**

TORA está basado en la modificación del algoritmo *Partial Link Reversal*, para ser capaz de detectar particiones de la red (enlaces caídos), pudiendo proporcionar más de una ruta desde el origen hacia cualquier destino, mediante el desarrollo de las siguientes tres funciones básicas: Creación de rutas, Almacenamiento de rutas y Eliminación de rutas

Todo este procedimiento lo realiza mediante la utilización de mensajes de control: *Query* (QRY), *Update* (UPD), *Clear* (CLR)

TORA genera un gráfico acíclico dirigido DAG (*Destination-oriented directed Acyclic Graph*) durante la creación y el mantenimiento de rutas, a través de la utilización de una métrica conceptual denominada “Altura”. Este gráfico representa la visualización que posee un nodo destino, de la red sin lazos de enrutamiento. Una vez que ha sido generado el DAG los enlaces son etiquetados con una dirección (subida o bajada) basada en la altura relativa que presenta la topología de red, cabe mencionar que el gráfico generado apunta al destino, el cual es el único nodo que no tiene enlaces de bajada, como se muestra en la figura 3.8.



**Figura 3. 8. Gráfico acíclico dirigido DAG (*Destination-oriented directed Acyclic Graph*).**

Las métricas que utiliza TORA son las siguientes: Tiempo lógico de falla de enlace, Indicador único ID del nodo que define el nuevo nivel de referencia, Bit indicador de reflejo, Parámetro de propagación ordenada e Identificador ID único para cada nodo

En donde las tres primeras representan en forma grupal el nivel de referencia o “altura”. El tiempo es un factor importante dentro de este protocolo ya que la métrica “Altura”, es dependiente del tiempo lógico de la falla del enlace, por lo que TORA asume que todos sus relojes se encuentran sincronizados (esto puede conseguirse mediante una fuente externa como por ejemplo el uso de GPS), de esta manera no es claro si TORA puede funcionar adecuadamente en ambientes donde el sistema GPS no esta disponible o no es confiable.

Cuando un nodo necesita enviar información hacia un destino y no posee una ruta, este envía en forma de *broadcast* un mensaje *QUERY* que contiene la dirección destino

para cada requerimiento de ruta. El mensaje *QUERY* viaja a través de la red hasta descubrir el destino o encontrar algún nodo que sepa como llegar a él. Cuando los nodos intermedios reciben este mensaje actualizan su “altura” y envían un paquete de actualización *UPDATE* al nodo que origino la petición. Si el nodo destino no es encontrado este es fijado con un valor local máximo de “altura”. El proceso de mantenimiento de ruta se da cuando se pierde un enlace, regenerando nuevamente un DAG con un nuevo nivel de referencia, en cambio cuando la red es particionada se genera el proceso de eliminación de rutas, la cual genera el envío de un mensaje *CLEAR* que resetea todos los estados de enrutamiento y remueve la rutas inválidas de la red, las figuras 3.9 a la 3.11 muestran los procesos para este protocolo [23].

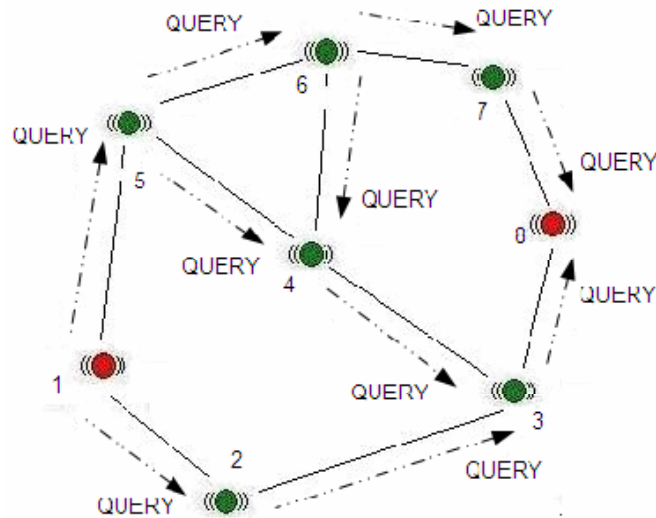


Figura 3. 9. Proceso de descubrimiento de ruta.

### 3.9.3 PWRP (*Predictive Wireless Routing Protocol*)

Las redes *Mesh* han sido empleadas con éxito en aplicaciones militares desde la década de los 70. Estos sistemas requieren el uso de los dispositivos (especialmente diseñados) propietarios de usuarios finales. Por otra parte, los protocolos de enrutamiento inalámbricos desarrollados para estos sistemas militares fueron diseñados para apoyar la interconexión de clientes (es decir, las comunicaciones desde cualquier punto A a cualquier punto B dentro de la malla) en el campo de batalla, en lugar de acceder a una red cableada como la Internet.



El enfoque en la interconexión del cliente pone limitaciones fundamentales en estos protocolos del enrutamiento, haciéndolos inadecuados para el ambiente computacional cliente-servidor. Primero, debido a gastos indirectos del enrutamiento y la degradación excesiva del rendimiento de procesamiento a través de saltos múltiples, la tecnología de la interconexión *Mesh* no puede escalar para crear redes grandes. En segundo lugar, debido a que el enfoque en la interconexión del cliente, no optimiza la trayectoria de datos entre el cliente inalámbrico y los servidores cableados. Debido a que las redes *Mesh* se utilizan principalmente en ad-hoc, redes punto-a-punto, estos problemas iban en gran parte sin resolverse por más de dos décadas después del advenimiento de redes *Mesh* al final de los 70.

Diseñados para el ambiente computacional cliente-servidor como uso primario, PWRP elimina estas limitaciones. Con PWRP, la red inalámbrica optimiza dinámicamente las trayectorias de los datos del servidor al cliente y puede escalar a las redes grandes que atraviesan ciudades, provincias, y regiones enteras manteniendo alto rendimiento.

PWRP, selecciona dinámicamente la trayectoria punto a punto basada en la tasa de error de paquete, proporcionando la máxima eficacia espectral, así los enlaces requeridos se encuentran en diferentes bandas de frecuencia, PWRP anula los efectos de la interferencia de RF, reduciendo al mínimo las retransmisiones totales, mejorando la capacidad del suscriptor [24].

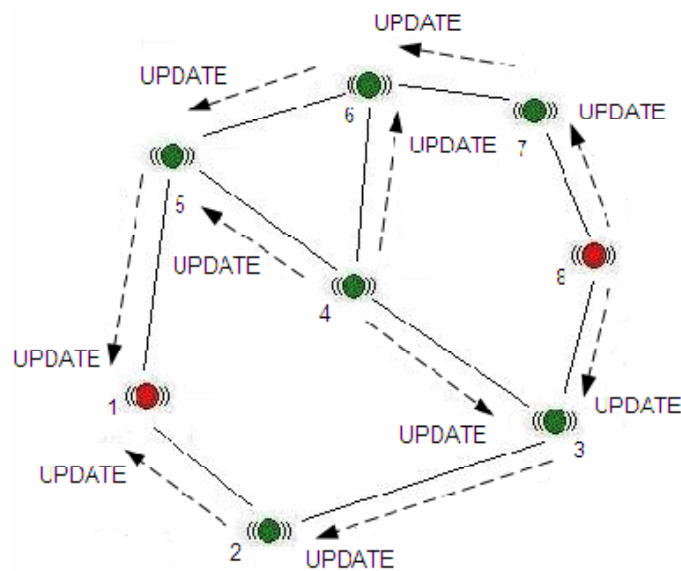


Figura 3. 10. Proceso de descubrimiento y mantenimiento de ruta.

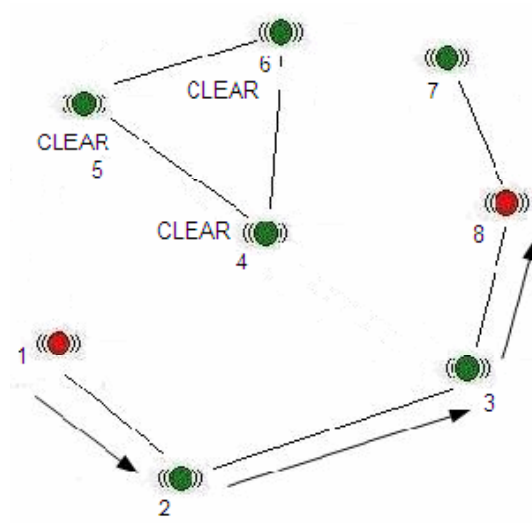


Figura 3. 11. Proceso de eliminación de rutas inválidas.

## CAPÍTULO 4

### Simulaciones

#### 4.1 Introducción

En este capítulo se explicará cómo se realizaron las simulaciones de una red *Mesh*, de área metropolitana a partir del estándar IEEE 802.16; para ello se utilizó el simulador NCTUns el cual trabaja en una plataforma Linux, especialmente para las distribuciones Fedora y RedHat, NCTUns es un simulador de red extensible de alta fidelidad y un emulador capaz de simular varios protocolos usados en redes licenciadas y no licenciadas.

#### 4.2 Escenarios

Las topologías implementadas para las simulaciones constan de dos actores de gran importancia la estación base (BTS) y la estación suscriptora (ES), sus representaciones son mostradas en la figura 4.1.

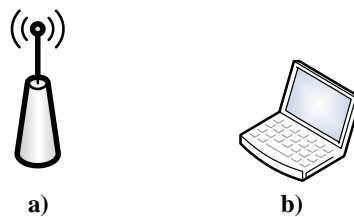


Figura 4. 1. a) Estación Base b) Estación Suscriptora

Las simulaciones fueron realizadas en NCTUns 5.0, con un modelo de propagación teórico “*Two Ray Ground*”, en escenarios para simular ambientes de *Downlink*, *Uplink* y *Mesh*; permitiendo obtener la tasa real de transmisión (*throughput*) en las mismas.

La tabla 4.1. especifica los datos de frecuencia, sensibilidad del transmisor, potencia del transmisor y tipo de tráfico implementados en las simulaciones

Tabla 4. 1. Datos implementados en las simulaciones

Parámetro	Dato
Frecuencia	5.4 GHz
Sensibilidad del Transmisor	- 130 dbm
Potencia del transmisor	37 dbm
Tipo de tráfico	CBR

La radiobase presenta la estructura descrita en la figura 4.2, en la cual se observa que está constituido por: *Interface*, *Mesh\_Router*, *MAC\_802.16*, *Mesh\_OFDM* y *CM*.

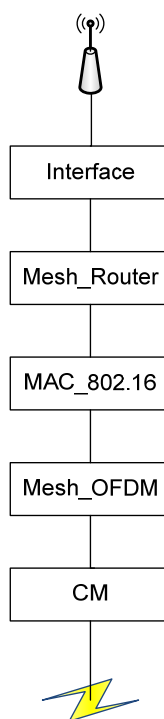


Figura 4. 2. Estructura Radiobase

*Interface*, es un bloque editable en el que se permite modificar la dirección IP (IP *Address*) y la submáscara de red (*Netmask*), define que operaciones y servicios están disponible en la radio base.

**Mesh\_Router**, es un bloque no editable, el cual no permite modificar sus parámetros, monitorea continuamente la actividad de la red y mantiene una lista de los dispositivos cercanos.

**MAC\_802.16**, este bloque informa la dirección MAC de la estación y permite configurar el parámetro de la longitud máxima de la cola de transmisión de la capa del MAC, esta valor esta dado por paquetes, el valor por omisión es de 10000 paquetes.

**Mesh\_OFDM**, en este bloque podemos configurar los parámetros a continuación enunciados, cambiando los valores que viene por omisión:

<i>Default Channel ID:</i>	0
<i>Receive Sensibility (dbm):</i>	-130
<i>Maximum Transmission Range (m):</i>	500
<i>Frequency (MHz):</i>	5470
<i>Transmission Power (dbm):</i>	37

**CM**, este bloque nos permite configurar parámetros y el modelo de propagación implementado en las simulaciones.

<i>Fading Variance:</i>	10.0
<i>Average Building Height (m):</i>	80.0
<i>Street Width (m):</i>	30.0
<i>Path Loss Exponent:</i>	2.0
<i>Shadowing Standard Deviation:</i>	4.0
<i>Close-in Reference Distance (m):</i>	1.0
<i>System Loss:</i>	1.0
<i>Antenna Height (m):</i>	1.5

*Ricean Factor K (db):* 10.0

*Propagation Channel Mode*

*Theoretical Channel Model*

*Path Loss Model* Two\_Ray\_Ground

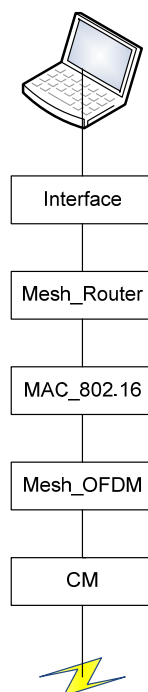
*Fading Model* None

*Empirical Channel Model*

*Choosing Model* Suburban\_1\_9GHz\_TB

En los parámetros del canal de propagación cabe destacar que se activará el modo de propagación teórico o el modo empírico, pero no los dos al mismo tiempo.

La estación suscriptora consta con una estructura casi similar a la que presenta la radiobase, la cual puede ser observada en la Figura 4.3, constituida por Interface, Mesh\_Router, MAC\_802.16, Mesh\_OFDM, CM.



**Figura 4. 3. Estructura del Nodo**

**Interface**, es un bloque editable que permite modificar la dirección IP (*IP Address*) y la submáscara de red (*Netmask*), define que operaciones y servicios están disponible en el nodo.

**Mesh\_Router**, es un bloque no editable, el cual no permite modificar sus parámetros, monitorea continuamente la actividad de la red y mantiene una lista de los dispositivos cercanos.

**MAC\_802.16**, este bloque informa la dirección MAC del nodo y permite configurar el parámetro de la longitud máxima de la cola de transmisión de la capa MAC, este valor está dado por paquetes, el valor por omisión es de 10000 paquetes.

**Mesh\_OFDM**, en este bloque podemos configurar los parámetros a continuación enunciados, cambiando los valores que viene por omisión, permite establecer los parámetros de transmisión y recepción:

<i>Default Channel ID:</i>	0
<i>Receive Sensibility (dbm):</i>	-130
<i>Maximum Transmission Range (m):</i>	500
<i>Frequency (MHz):</i>	5470
<i>Transmission Power (dbm):</i>	37

**CM**, este bloque nos permite configurar parámetros y el modelo de propagación implementado en las simulaciones.

<i>Fading Variance:</i>	10.0
<i>Average Building Height (m):</i>	80.0
<i>Street Width (m):</i>	30.0
<i>Path Loss Exponent:</i>	2.0
<i>Shadowing Standard Deviation:</i>	4.0

*Close-in Reference Distance* (m): 1.0

*System Loss*: 1.0

*Antenna Height* (m): 1.5

*Ricean Factor K* (db): 10.0

*Propagation Channel Mode*

*Theoretical Channel Model*

*Path Loss Model*                      *Two\_Ray\_Ground*

*Fading Model*                              *None*

*Empirical Channel Model*

*Choosing Model*                          *Suburban\_1\_9GHz\_TB*

En los parámetros del canal de propagación cabe destacar que se activará el modo de propagación teórico o el modo empírico, pero no los dos al mismo tiempo.

A continuación se explican ciertos parámetros que se encuentran tanto en la estación base (BTS) y estación suscriptor (ES).

### ***Fading Variance***

Es la variación de intensidad de las señales en el punto de recepción, causado por la alteración de las condiciones del medio de propagación o por fluctuación de la trayectoria o las trayectorias de propagación.

### ***Path loss exponent***

Las pérdidas de propagación de trayectoria son representadas por el exponente de pérdidas de propagación de trayectoria, este valor se encuentra normalmente en el rango de 2 a 4, siendo 2 el valor que representa la propagación en espacio libre y el valor de 4 para medios saturados, el modelo llamado de tierra plana. En algunos entornos, como edificios, estadios, etc. pueden alcanzar valores en el rango de 4 a 6; por otro lado, un túnel puede



actuar como una guía de onda, tomando un valor inferior a 2, en la tabla 4.2 podemos observar los valores característicos.

**Tabla 4. 2. Valores característicos de *Path Loss Exponent***

<b>Ambiente</b>		<b>Path Loss Exponent</b>
<b>Outdoor</b>	Free space	2
	Shadowed urban area	2,7 a 5
<b>In Building</b>	Line-of-sights	1,6 a 1,8
	Obstructed	4 a 6

### ***Shadowing Standard Deviation***

La desviación estándar de shadowing, depende en gran medida del ambiente, puede tomar un valor comprendido entre 3 y 12, en la tabla 4.3 se encuentra algunos de valores característicos.

**Tabla 4. 3. Valores característicos de *Shadowing Standard Deviation***

<b>Ambiente</b>	<b><i>Shadowing Standard Deviation</i></b>
Outdoor	4 a 12
Office, hard partition	7
Office, soft partition	9,6
Factory, line-of-sight	3 a 6
Factory, obstructed	6,8

### ***Close-in Reference Distance***

Es la distancia de referencia desde el transmisor que son obtenidas a partir de las mediciones.

### ***System Loss***

Es la energía que se pierde en forma de calor en los conductores y el equipo del sistema de transmisión.

### ***Ricean Factor K***

Se define como la relación de potencia de la señal sobre la energía dispersada. La energía recibida con línea de vista es igual  $c^2/2$ ; en ambientes de interiores con línea de vista y sin obstáculos entre el transmisor y el receptor el factor puede tomar el valor entre 4 y 12 db.

Conociendo la estructura tanto de la radiobase como del nodo podemos realizar las respectivas modificaciones de acuerdo a los parámetros que se desea simular y de esta forma obtener una idea del comportamiento que se presentaría en un ambiente real; para la transmisión y recepción de información se utilizan los comandos *stg* y *rtg*, con estos comandos el tipo de tráfico que esta presente en la red es de tipo CBR.

El comando *stg*, esta constituido por la siguiente estructura:

*stg -modes hostIPAddr [-options]*, en donde:

*[-modes]*

Modo TCP:

*-t Duration (seconds).*

Modo UDP:

*-u PacketDataPayLoadSize (byte) Duration (seconds).*

*-m Bandwidth (Mbit/sec) MaxQueueLength (packets) (-m solo para modo UDP, por defecto 100Mbit/sec, 50 paquetes.)*

Modo Trace:

*-trace InputTraceFilename.*

Modo Self-similar:

*-s AvgBw (kB/s) AvgPktSize (byte) Duration (seconds) OutputFilename.* Nota: En este modo, primero se calcula el flujo de tráfico y se guarda en archivo cuyo nombre viene dado por *OutputFilename*, para luego ser utilizado por el

comando `stg` generando y enviando los paquetes automáticamente.

Modo *ConfigFile*:

`-i ConfigFilename`

`[-options]`

`-p` número de puerto para enviar a (por defecto 3000.)

`-v` resultados por paquetes son mostrado por pantalla.

`-seed` random seed (por defecto hora actual.)

Mientras que el comando `rtg` esta constituido de la siguiente forma:

`rtg -type [-options]`, en donde:

`[-type]`

`-t` Conexión TCP

`-u` Conexión UDP

`[-options]`

`-v` resultados por paquetes son mostrado por pantalla.

`-sb bufSize` establece el tamaño del búfer (kByte)

`-p port` número de puerto para escuchar a (por defecto 3000)

`-o LogFilename` resultado de paquetes grabado en un archivo especifico (solo soportado en UDP)

`-w LogFilename` resultado de *throughput* grabado en un archivo específico.

En las simulaciones por ejemplo se emplearon las instrucciones `stg -u 2048 49 1.0.1.6` y `rtg -u -w bytes_N6.log`, la primera instrucción permite tener una conexión de tipo UDP, con un paquete de 2048 bytes con una duración de 49 segundos a la dirección 1.0.1.6, la segunda instrucción trabaja con una conexión de UDP y nos permitirá obtener un archivo de extensión log en el cual tendremos el *throughput* del nodo desde el momento que inicia la transmisión hacia el.

Las simulaciones fueron realizadas con un tiempo máximo de 300 segundos, las simulación dependiendo del caso podía demorar varias horas para obtener los resultados, lo cual permitió obtener transmisión de información entre la radiobase y los usuarios o entre los usuarios. Los ambientes simulados son tipo *downlink*, *uplink* y *mesh*, lo cual no s permitirá obtener la tasa real de transmisión.

Las simulaciones de tipo *downlink* y *uplink*, están constituidas por una red *mesh* 4x4, separados a una distancia entre nodos de 200m, los nodos son fijos, las topologías implementadas se encuentran representadas en las figuras 4.4 y 4.5.

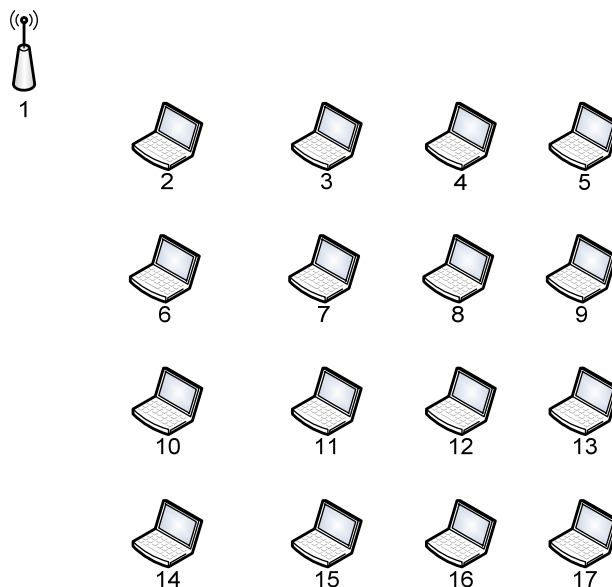
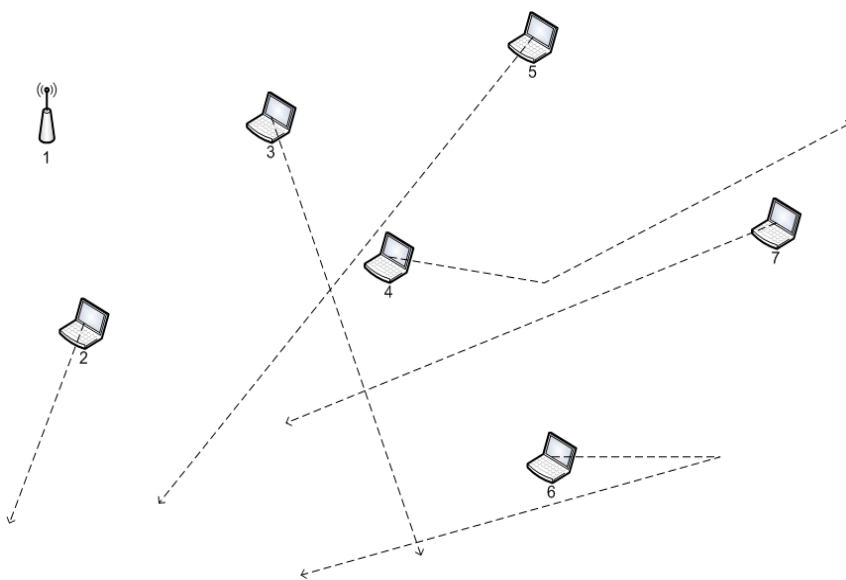


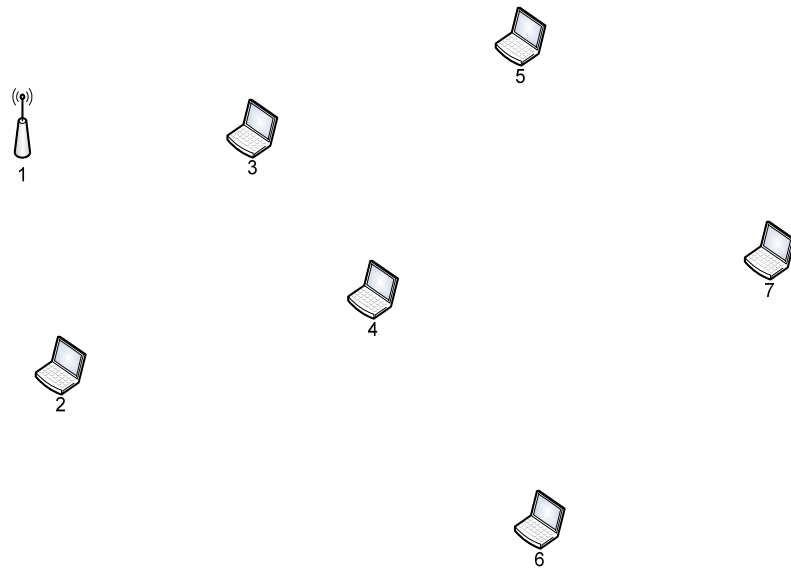
Figura 4. 4. Red Mesh 4x4 radiobase fuera de la red

**Figura 4.5. Red Mesh 4x4 radiobase dentro de la red**

Para los ambientes *mesh* las topologías utilizadas son tanto con nodos fijos como con nodos móviles, permitiendo comprobar si la distancia máxima configurada en la estructura de la radiobase y nodo se cumplirían en las simulaciones con una expectativa que se permitan la conexión y transmisión de paquetes en un ambiente real, en las figuras 4.6 y 4.7 se presentan las topologías implementadas.



**Figura 4.6. Red Mesh, nodos con movimiento aleatorio**



**Figura 4. 7. Red Mesh, nodos ubicados a la máxima distancia**

## CAPÍTULO 5

### Análisis de Resultados

#### 5.1 Introducción

De las simulaciones se obtuvieron resultados los mismos que serán analizados a partir de la obtención *Throughput* en los diferentes escenarios simulados.

El *Throughput*, es el volumen de información que se trasmite de un lugar a otro en las redes de datos en un determinado período de tiempo; la tabla 5.1 muestra los parámetros implementas en las simulaciones de las diferentes topologías.

Tabla 5. 1. Parámetros de Simulación

<b>Tipo</b>	<b># SS</b>	<b>SS Transmitiendo</b>	<b>Distancia entre nodos</b>	<b>SS en Movimiento</b>
<b><i>Mesh 4x4 con radiobase externa</i></b>	16	1	200 m	No
<b><i>Mesh 4x4 con radiobase interna</i></b>	16	2	200 m	No
<b>Red <i>Mesh 4x4 con radiobase interna transmitiendo a 13 nodos</i></b>	16	13 nodos simultáneamente	200 m	No
<b><i>Mesh</i></b>	7	2 nodos simultáneamente	490m	No
<b><i>Mesh con transmisión simultánea</i></b>	7	2 nodos simultáneamente	490 m	No
<b><i>Mesh con nodos en movimiento</i></b>	7	2 nodos	490 m	Si

### 5.2 Red Mesh 4x4 con radiobase externa de la red

La figura 5.1 permite observar el *Throughput* al transmitir desde la radiobase a un solo nodo, nodo 17, siendo un valor promedio de 550 kbytes/s, observándose un comportamiento aproximadamente constante para todo el intervalo de simulación.

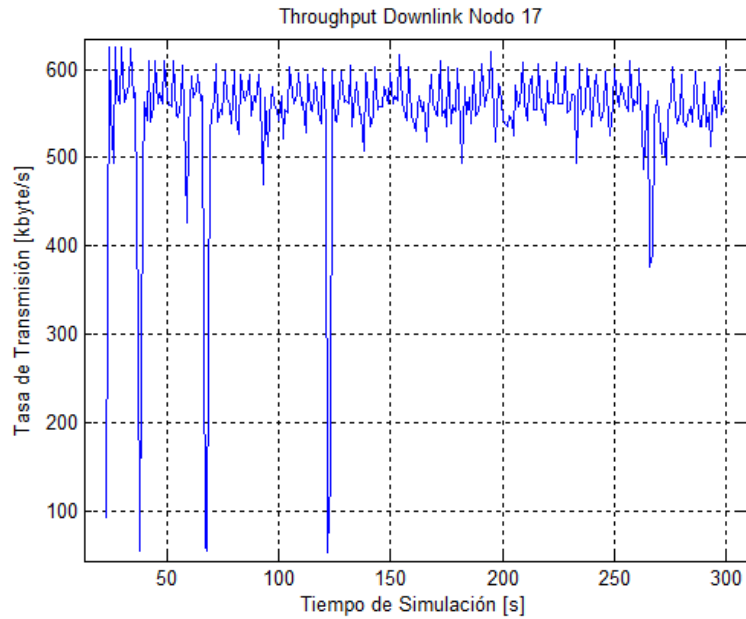


Figura 5. 1. *Throughput* de Downlink con radiobase externa a la red

### 5.3 Red Mesh 4x4 con radiobase interna en la red

A partir de la simulación se obtuvieron las figuras 5.2 y 5.3, en las cuales se observan el *Throughput* de los nodos a los que se envió la información, nodo2 y nodo16.

Observándose que en la transmisión del nodo 2 existen 4 intervalos de tiempo en los que la tasa de transmisión se encuentra por debajo del promedio del 560 kbytes/s, en la transmisión del nodo 16 observamos un *Throughput* más constante de 568 kbytes/s durante todo el intervalo de simulación.

El tráfico promedio sobre la red *Mesh* está representada en la figura 5.4, se observó que el *Throughput* sobre la red es de 565 kbytes/s, presentado tres puntos críticos en los cuales *Throughput* es menor al promedio.



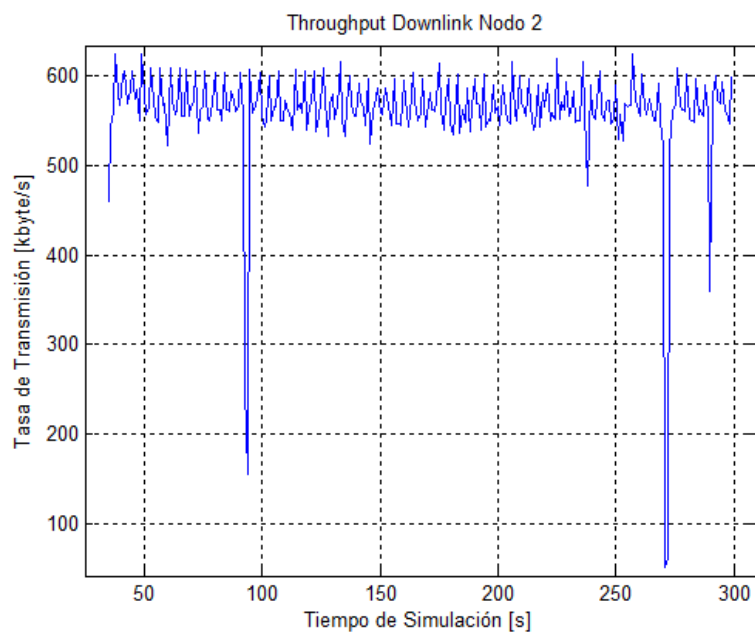


Figura 5. 2. *Throughput de Downlink Nodo 2*

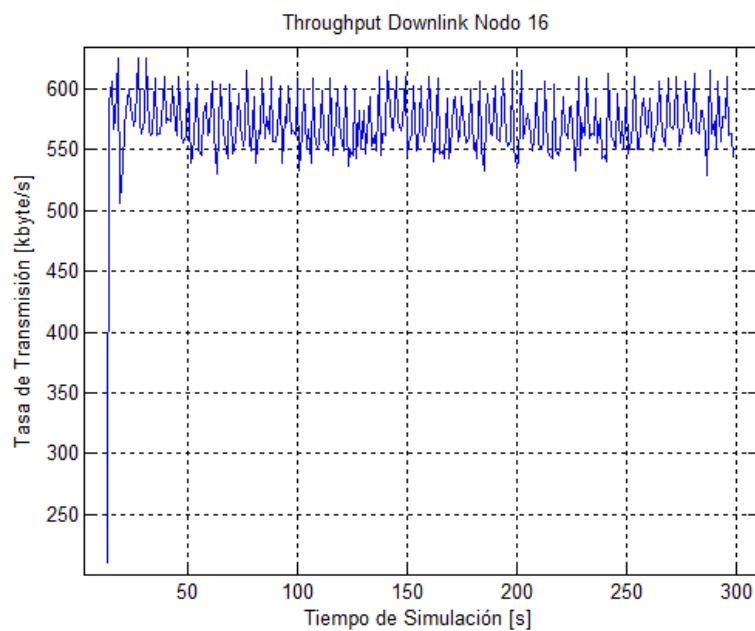


Figura 5. 3. *Throughput de Downlink Nodo 16*

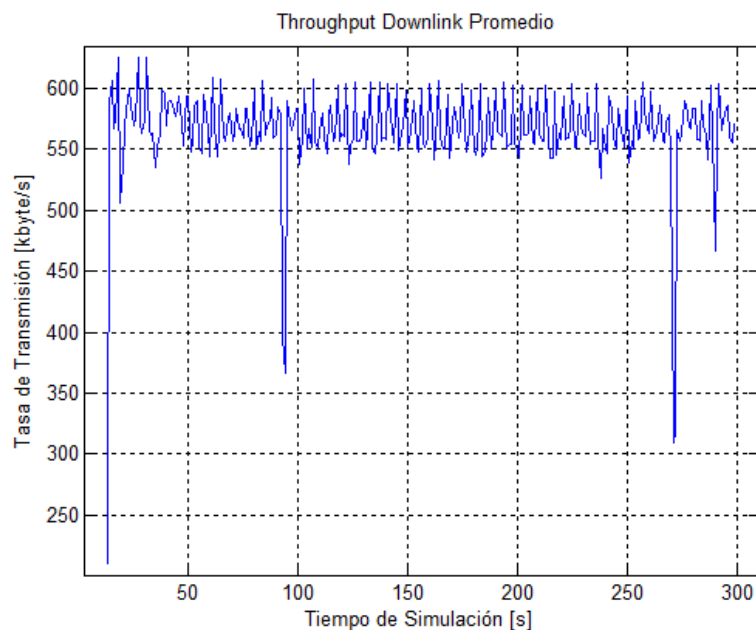


Figura 5. 4. *Throughput* promedio sobre la red *Mesh*

#### 5.4 Red *Mesh* 4x4 con radiobase interna transmitiendo a 13 nodos simultáneamente

En esta simulación, en la que la radiobase transmitía información simultáneamente a 13 nodos, se pudo observar que sólo 10 nodos tuvieron conexión con la radiobase, la información es enviada de la radiobase pasando por nodos intermedios hasta llegar a su nodo destino.

El *Throughput* promedio, de esta simulación se encuentra representada en la figura 5.5, esta figura nos permite observar que a medida que aumentan los nodos transmitidos el *Throughput* baja.

El *Throughput* en los primeros segundos de transmisión se encuentra en un valor promedio de 580 kbytes/s, observándose que el momento que se transmiten a los 10 nodos simultáneamente este valor se reduce a 330 kbytes/s promedio.

#### 5.5 Red *Mesh*

Esta simulación ha permitido determinar la distancia máxima a la que se pueden encontrar los nodos, esta distancia es de 490 metros en la cual existe una conexión y transmisión de información entre los nodos que forman parte de la red. Las figuras 5.6 y 5.7 muestran el *Throughput* que existe en esta red, observándose que estos valores se

encuentran en un promedio de 525 kbytes/s en la transmisión tanto para el nodo 6 como para el nodo 7.

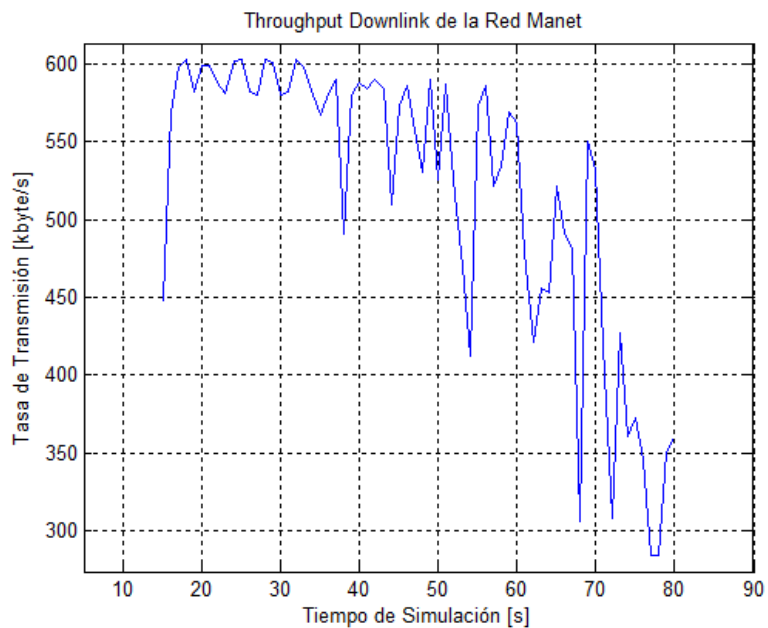


Figura 5. 5. *Throughput* promedio, transmisión simultánea a 13 nodos

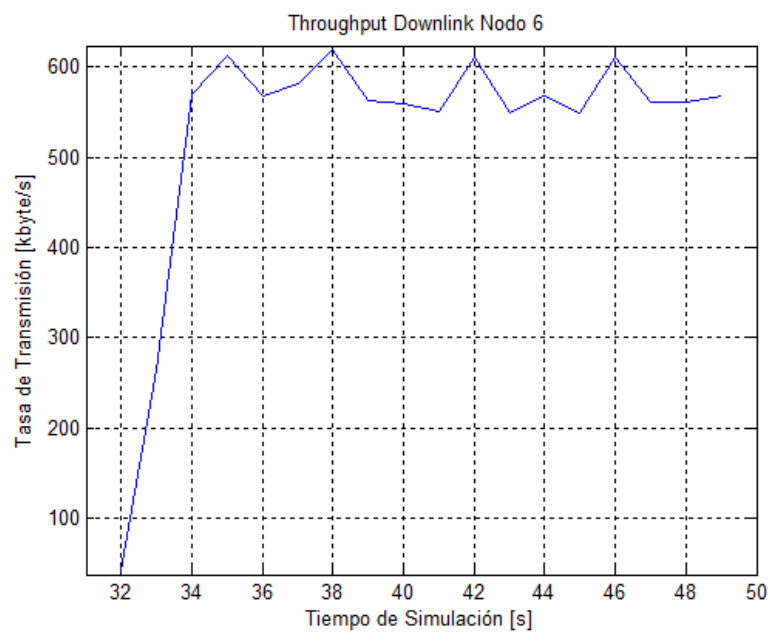


Figura 5. 6. *Throughput* Nodo 6

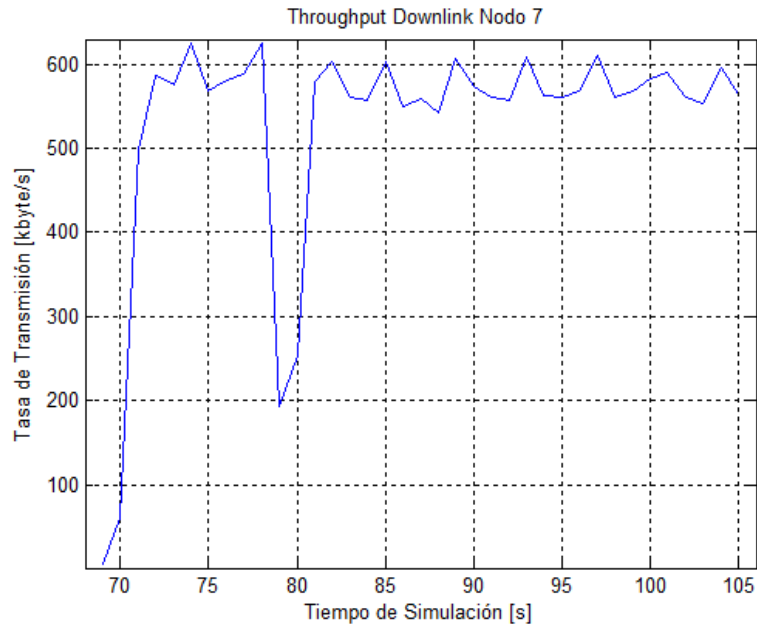


Figura 5.7. *Throughput* Nodo 7

### 5.6 Red Mesh con transmisión simultánea

La simulación de este entorno permitió observar una transmisión simultánea hacia los nodos 6 y 7 las figuras 5.8 y 5.9 nos permite observar el *Throughput*, en cada uno de los nodos a los cuales se envió la información. En la figura 5.10 podemos observar el promedio del *Throughput* sobre la red *Mesh*.

Esta simulación tiene una característica particular la información transmitida al nodo 7 pasa por el nodo 6 como un nodo intermedio presentando un *Throughput* promedio de 336 kbytes/s, en la red *Mesh*.

### 5.7 Red Mesh con nodos en movimiento

Con el mundo cambiante se hecho necesarias la comunicaciones móviles, el estándar IEEE 802.16 tampoco es la excepción, este ambiente demuestra lo que ocurriría si los nodos se mueven aleatoriamente; la figura 5.11 y 5.12 muestras los *Throughput* de los nodos 6 y 7.

Permite observar que la transmisión de información es posible presentando ciertos intervalos de tiempo en los cuales el *Throughput* es 0 kbytes/s; *Throughput* promedio sobre el nodo 6 es 502 kbytes/s en el nodo 7 el *Throughput* promedio es 466 kbytes/s, estos

valores de *Throughput* son bastante parecidos a los presentados en las transmisiones de información con nodos fijos.

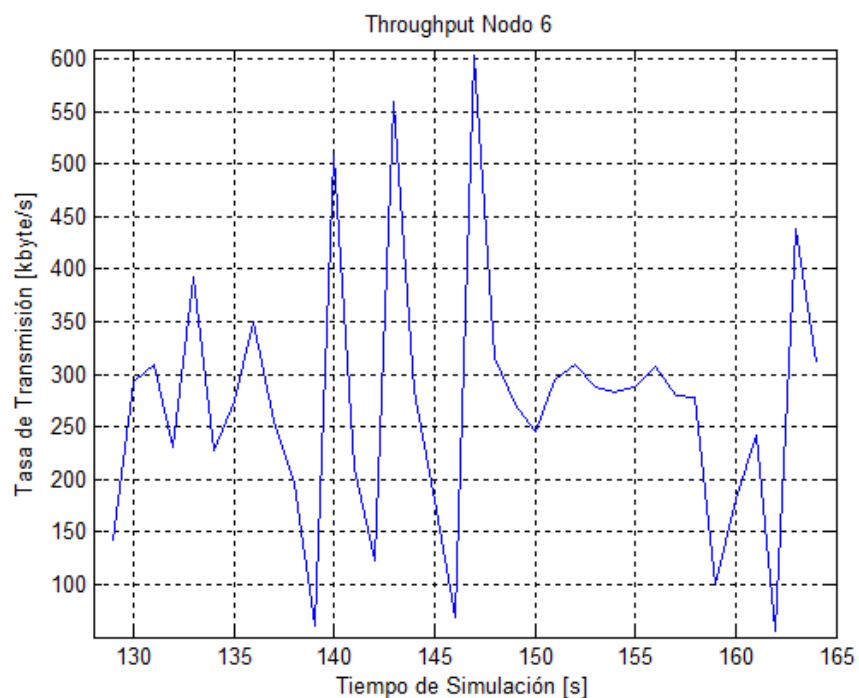


Figura 5. 8. *Throughput* Nodo 6

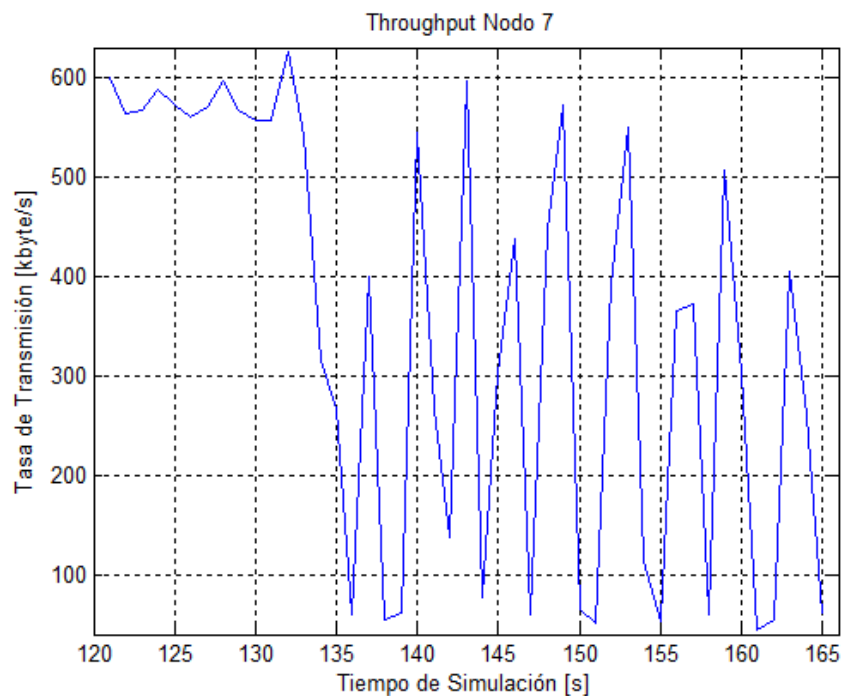


Figura 5. 9. *Throughput* Nodo 7

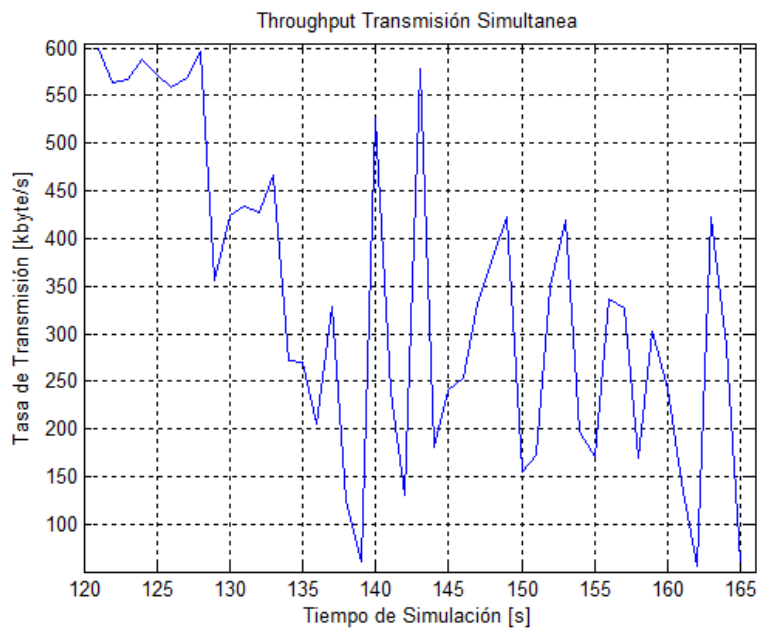


Figura 5. 10. *Throughput* promedio de la red Mesh

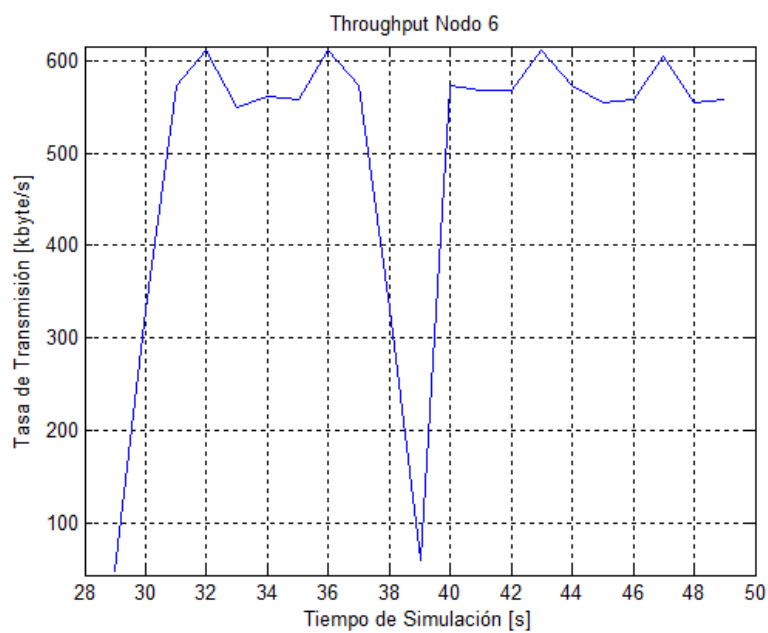


Figura 5. 11. *Throughput* nodo 6 con nodos en movimiento

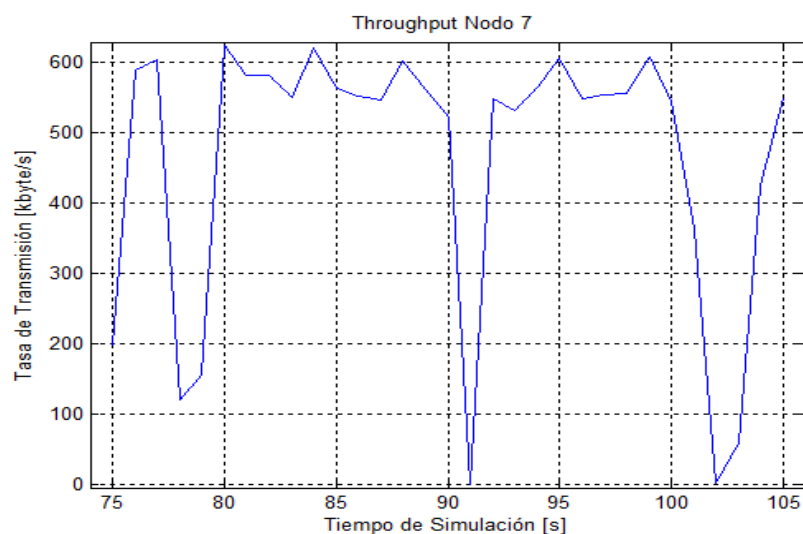


Figura 5. 12. *Throughput* nodo 7 con nodos en movimiento

La tabla 5.2 contiene un resumen de los resultados obtenidos en los diferentes ambientes de simulación, observándose que en casi todas las simulaciones el *Throughput*, es menor a 5 Mbps.

Tabla 5. 2. Resultados Obtenidos de las Simulaciones

Tipo	# SS	SS Transmitiendo	<i>Throughput</i> kbytes/s	<i>Throughput</i> Mbps
<i>Mesh</i> 4x4 con radiobase externa	16	1	550	4.50
<i>Mesh</i> 4x4 con radiobase interna	16	2	565	4.63
Red <i>Mesh</i> 4x4 con radiobase interna transmitiendo a 13 nodos	16	13 nodos simultáneamente	330	2.70
<i>Mesh</i>	7	2 nodos simultáneamente	525	4.30
<i>Mesh</i> con transmisión simultánea	7	2 nodos simultáneamente	336	2.75
<i>Mesh</i> con nodos en movimiento	7	2 nodos	484	3.96

## CAPÍTULO 6

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 6.1 Conclusiones

Con el avance de la tecnología y las comunicaciones móviles, el estándar IEEE 802.16 se encuentra en constante desarrollo, esperando que próximamente, esté sea el futuro de las comunicaciones de cuarta generación, con anchos de banda de 1 Mbytes/s, con coberturas de 70 Km.

Las redes *Mesh*, son redes que no presentan infraestructura y pueden ser configuradas con topologías en las cuales la red sólo está constituida por radiobases o sólo por nodos.

La tasa de transmisión de 70 Mbps, no es posible alcanzar, debido a que a una distancia de 200 m la tasa de transmisión máxima que se alcanzó es de 6,5 Mbps en ciertos intervalos de tiempo, siendo una tasa más constante de 5 Mbps.

La mayor distancia que debe existir entre los nodos no deberá superar los 490 m, al superar esta distancia no existe conexión entre los nodos que forman parte de la red *Mesh* sin poder transmitir la información.

En una transmisión simultánea el número máximo de nodos a los que se puede enviar información a una distancia de 490 m es de 10 nodos, si existieren una mayor cantidad no existirá una transmisión de información hacia ellos; no se debe olvidar que la distancia es entre estaciones suscriptoras.

En una transmisión simultánea existen momentos en los cuales uno de los nodos se quedará sin información debido al tráfico que se encuentra presente en la red.



Un nodo el cual está recibiendo información puede ser un nodo intermedio para transmisión de otro, presentando una prioridad mayor a la información que está recibiendo y dejando en un segundo la transmisión en la cual interviene como un nodo intermedio.

En las redes *Mesh* en la cual se conectan más de un usuario a un mismo nodo, presenta *Throughput*, no constante, observándose que varía entre 70 y 600 kbytes por segundo.

Este estándar dará un gran soporte sobre nodos móviles con *Throughput* de alrededor de 484 kbytes/s, superando los *Throughput* con los que cuentan las tecnologías actualmente vigentes, estándar IEEE 802.11.

Los protocolos de enrutamiento estudiados, no fueron posible su implementación, debido a que el simulador NCTUns no presenta la facilidad de incluirlos como un modulo en la estructura tanto de la radiobase como de la estación suscriptora.

## **6.2 Recomendaciones**

En ocasiones en las simulaciones no se obtiene resultados, esto puede deberse a que el firewall de Fedora se encuentra activo, para desactivar abrir una ventana del terminal y ejecutar los comandos `iptables -F` e `iptables -L`, desactivando el cortafuegos y todas las reglas.

La instalación de las librerías que utilizan NCTUns en Linux se la debe ejecutar en modo root o anteponiendo el comando `sudo` a todos los comandos a ejecutarse.

La ejecución del simulador NCTUns se lo realizar en la kernel que se instalado con el simulador.

## **ANEXO 1**

### **INSTALACIÓN DE NCTUNS EN DISTRIBUCIONES DEBIAN**

Este documento describe como instalar NCTUNS sobre un Debian Inestable (Sid); un proceso similar debería ejecutarse sobre Debian Estable (Lenny) y las versiones de Ubuntu.

### Dependencias

Instale las dependencias utilizando la siguiente línea de código

```
$ apt-get install build-essential rpm tcl8.5 tcl8.5-dev xinetd rsh-server libncurses5-dev libqt3-mt
```

### Descargue NCTUns

Descargue y descomprima NCTUns

```
$ wget http://nsl10.csie.nctu.edu.tw/download/NCTUns-allinone-linux-2.6.25.9-f9.20080919-3.tar.gz
$ tar -xzf NCTUns-allinone-linux-2.6.25.9-f9.20080919-3.tar.gz
$ cd NCTUns-5.0
```

### Modifique NCTUns

Debemos modifica un poco del código fuente para instalar en un sistema Debian/Ubuntu

- install.d/E00common (línea 26).
 

```
# WHICH="/usr/bin/which --skip-function --skip-alias"
   WHICH="/usr/bin/which"
```
- install.d/E00common (línea 139).
 

```
#if [[ `eval echo \\$$1` =~ ^[Yy]([Ee][Ss])?$ ]]; then
   if grep -q "^[Yy]([Ee][Ss])\?$" <<< "${!1}"; then
```
- install.d/S06check (línea 31).
 

```
# test rpm package manager whether exists
#RPM=rpm
#export RPM=`$WHICH $RPM 2>/dev/null`
   fake_rpm() { echo "fake_rpm"; }
   export RPM=fake_rpm
```
- Crear /etc/xinetd.d/rlogin
 

```
# default: on
# description: rlogind is the server for the rlogin(1) program. The server \
# provides a remote login facility with authentication based on \
```

```
# privileged port numbers from trusted hosts.
service login
{
    socket_type    = stream
    wait           = no
    user           = root
    log_on_success += USERID
    log_on_failure += USERID
    server         = /usr/sbin/in.rlogind
    disable        = no
}
- Crear /etc/xinetd.d/rsh
# default: on
# description: The rshd server is the server for the rcmd(3) routine and, \
# consequently, for the rsh(1) program. The server provides \
# remote execution facilities with authentication based on \
# privileged port numbers from trusted hosts.
service shell
{
    socket_type    = stream
    wait           = no
    user           = root
    log_on_success += USERID
    log_on_failure += USERID
    server         = /usr/sbin/in.rshd
    disable        = no
}
```

### Compilar NCTUns

Copie el archivo install.conf, permita todas las variables de configuración a excepción del `install_kernel` (`install_kernel=no`). Ejecute el script en modo root.

```
$ ./install.sh -c install.conf
```

Incluir las variables de entorno NCTUns añadiendo estas líneas al final de `/home/nctuns/.bashrc`

```
export NCTUNSHOME=/usr/local/nctuns
export NCTUNS_TOOLS=$NCTUNSHOME/tools
export NCTUNS_BIN=$NCTUNSHOME/bin
export PATH=${NCTUNS_BIN}:${PATH}
```

### **Corriendo interfaz gráfica de usuario (GUI) de NCTUns**

Lóguese con el usuario del NCTUns y corra el cliente GUI

```
$ nctunsclient
```

### **Correr dispatcher/coordinator de NCTUns**

NCTUns es un sistema distribuido que consiste en tres partes: la interfaz gráfica de usuario, dispatcher y coordinator (que se ejecuta en cada servidor de simulador), que pueden ser instalados en equipos diferentes. La aplicación de la GUI no tiene ningún requisito especial, pero el dispatcher y coordinator requieren un kernel modificado.

Los Archivos fuente de NCTUns incluyen un paquete precompilado del kernel modificado (NCTUns-5.0/RPM/kernel-nctuns-2.6.25.9nctuns20080826-12.i386.rpm) de Fedora 9. A pesar de que podría convertirse en paquete fuente Debian, la mejor opción es la de construcción un paquete fuente original Debian.

Los parches del kernel se encuentran en `src/kernel-patch/kernel-2.6.25.9nctuns20080826-patches.tar.bz2`. A pesar del nombre, este archivo no contiene los parches, pero contenido todos los archivos de NCTUns que deben ser modificados o creados. Copiar estos archivos directamente en el árbol del núcleo de Debian no es seguro, ante todo crearemos un parche NCTUns.

Si usted está usando Debian inestable puede saltarse los siguientes dos pasos e instalar el kernel incluido en el paquete.

### Creación del parche para kernel NCTUns

Descargar el código fuente del kernel de Linux y compararlo con los archivos del kernel de NCTUnsl

```
$ cd NCTUns-5.0/kernel-patch
$ wget http://www.kernel.org/pub/linux/kernel/v2.6/linux-2.6.25.9.tar.bz2
$ tar jxf linux-2.6.25.9.tar.bz2
$ mkdir linux-2.6.25.9-nctuns
$ tar -C linux-2.6.25.9-nctuns -xjf kernel-2.6.25.9nctuns20080826-patches.tar.bz2
$ LC_ALL=C diff -urP linux-2.6.25.9 linux-2.6.25.9-nctuns | grep -v "^Only in" > nctuns-2.6.25.9.patch
```

### Compilación del paquete Debian kernel

Descargar un paquete Debian kernel v2.6.25, por ejemplo, aplicar el parche NCTUns creado previamente, compilar el kernel e instalar el paquete deb generado.

```
$ cd /tmp
$ wget http://puga.vdu.lt/debian/dists/lenny/main/binary-i386/l/linux-2.6.25/linux-source-2.6.25_2.6.25-3~1_all.deb
$ dpkg -i linux-source-2.6.25_2.6.25-3~1_all.deb
$ cd /usr/src
$ tar jxf linux-source-2.6.25.tar.bz2
$ cd linux-source-2.6.25
$ patch -p1 < /path/to/patch/nctuns-2.6.25.9.patch
$ cp config-2.6.25 .config
$ make-kpkg --initrd --append-to-version=-nctuns kernel_image
$ dpkg -i .. linux-image-2.6.25-nctuns_2.6.25-nctuns-10.00.Custom_i386.deb
```

Reinicie el sistema y seleccione el kernel NCTUns

### Prueba de los demonios

Ahora que el kernel NCTUns está instalado, tanto el demonio dispatcher y coordinator deben trabajar, mostrando los siguientes mensajes:

\$ dispatcher

ServerSocket listen to port:9810

ServerSocket listen to port:9800

(Active:0| fd:3) (Active:1| fd:4)

\$ coordinator

/usr/local/nctuns/bin/

ServerSocket listen to port:9830    FD:4

ServerSocket listen to port:9840    FD:5

ServerSocket listen to port:9880    FD:6

UnixDomainSocket Bind Path:/tmp/nctuns    FD:7

[To Dispatcher...]    register|127.0.0.1|9830|9840|IDLE

[From Dispatcher...]    OK

## **ANEXO 2**

### **INSTALACIÓN DE NCTUNS EN FEDORA**



La instalación y configuración del simulador de redes NCTUns es muy sencilla, siguiendo los cada uno de los siguientes pasos:

En una ventana del terminal ejecutaremos los siguientes comandos

```
$ yum install update
$ yum install gcc gcc-c++
$ yum install readline-devel
$ yum install libqt-mt.so.3
$ yum install rsh-server
$ yum install tcl
```

Descomprimos la carpeta de NCTUns, ejemplo de la versión 5.0

```
$ tar -xvf NCTUns-allinone-linux-2.6.27.7-f10.20090402-2.tar.gz
```

Ingresamos a la carpeta descomprimida

```
$ cd NCTUNS-5.0
```

Y procedemos a la instalación

```
$ ./install
```

Los archivos del simulador se guardarán automáticamente en la ruta /usr/local/nectuns.. Durante la instalación de NCTUns se crea un nuevo kernel para fedora en el cual se puede ejecutar el simulador. Este nuevo kernel aparecerá en la ventana del gestor de arranque Junto con otros sistemas operativos que usted tenga instalado en su computador.

Reiniciar el computador e ingresar en el nuevo kernel creado para NCTUns, con el usuario root, abrir una ventana del terminal y ejecutar los comandos iptables -F e iptables -L, deshabilitando el contafuegos y todas las reglas.

Ahora configuraremos el simulador

Definir las variables de ambiente NCTUNSHOME y LD\_LIBRARY\_PATH. Estas variables deben quedar definidas en los archivos .bashrc y .cshrc que se encuentran en el directorio /root.

Para definir las, en el archivo .bashrc debe agregar las siguientes líneas:

```
export NCTUNSHOME=/usr/local/nctuns
export LD_LIBRARY_PATH=/usr/local/nctuns/lib
```

Para definir las en el archivo .cshrc:

```
setenv NCTUNSHOME /usr/local/nctuns
setenv LD_LIBRARY_PATH /usr/local/nctuns/lib
```

para este proceso se utilizara el comando gedit

```
$ gedit /root/.bashrc
```

Especifique la dirección del dispatcher. Para esto, ubíquese en /usr/local/nctuns/etc/coordinator.cfg y compruebe que la dirección del dispatcher sea 127.0.0.1

En el archivo /etc/sysconfig/selinux desactive la variable SELINUX con SELINUX=disable.

Para ejecutar el simulador usted debe ubicarse en /usr/local/nctuns/bin y abrir tres terminales en cada uno de los cuales debe ejecutar los siguientes programas en este orden:

```
$ ./dispatcher
$ ./coordinator
$ ./nctunscient
```

Al ejecutar ./nctunscient entrará a la interfaz gráfica de usuario del simulador.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Redes inalámbricas de área metropolitana, es.kioskea.net, <http://es.kioskea.net/contents/wireless/wman.php3>.

[2] The IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access Standards, <http://wirelessman.org/>

[3] IEEE 802.16 WMAN Resource Center, [www.palowireless.com](http://www.palowireless.com), [http://www.palowireless.com/i802\\_16/](http://www.palowireless.com/i802_16/)

[4] IEEE 802.11TM Wireless Local Area Networks, [www.ieee802.org](http://www.ieee802.org), <http://www.ieee802.org/11/>

[5] WiMAX - 802.16 - Interoperabilidad mundial para acceso por microondas, es.kioskea.net, <http://es.kioskea.net/contents/wimax/wimax-intro.php3>

[6] AP, [www.webopedia.com](http://www.webopedia.com), <http://www.webopedia.com/TERM/A/AP.html>

[7] Guia: Como montar una red Ad-Hoc, [www.kirbits.cl](http://www.kirbits.cl), <http://www.kirbits.cl/blog/guia-como-montar-una-red-ad-hoc/>

[8] Redes *Mesh*, Sebastian Buettrich, [wire.less.dk](http://wire.less.dk), Adaptado por Ermanno Pietrosemoli, Fundación EsLaRed.

- [9] NS-2 sitio web, disponible en <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [10] OPNET Inc. sitio web, disponible en <http://www.opnet.com/>
- [11] NCTUns sitio web, disponible en <http://nsl.csie.nctu.edu.tw/nctuns.html>, Última fecha de actualización: 18 de febrero, 2009
- [12] Modelo OSI, disponible en <http://es.tech-faq.com/osi-model.shtml>.
- [13] Applied Coding and Information Theory for Engineers, R. B. Wells, New York. Prentice Hall, 1999.
- [14] Digital Signal Processing, R. A. Haddad, T. W. Parsons, Computer Science, 1991
- [15] Corrección de Errores, Sistemas de Comunicación de Datos II, Héctor Abarca A., [http://habarca.files.wordpress.com/2008/04/scdii\\_errores\\_3.ppt](http://habarca.files.wordpress.com/2008/04/scdii_errores_3.ppt)
- [16] Estudio del Estándar IEEE 802.16-2004, Sierra Emilio Javier, Facultad de Ingeniería Informática, Universidad Pontificia de Bolivariana.
- [17] Gerencia de Políticas Regulatorias, Osiptel, Marzo 2006.
- [18] Generalidades Del Estándar IEEE 802.16 (WiMAX), José L, Networkado, Enero 2009.
- [19] CBR - Constant Bit Rate, Preethi Ramkumar, [http://www.birds-eye.net/definition/c/cbr-constant\\_bit\\_rate.shtml](http://www.birds-eye.net/definition/c/cbr-constant_bit_rate.shtml)
- [20] Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV), Paola Sanz, UNAM, México DF, <http://aodv0.tripod.com/>
- [21] OLSR, 5 Mayo del 2006, [www.bicubik.net](http://www.bicubik.net), <http://www.bicubik.net/2006/05/05/olsr/>

[22] B.A.T.M.A.N Status Report, Axel Neumann, Corinna “Elektra” Aichele, Marek Lindner, Junio 28 del 2007, <http://downloads.open-mesh.net/batman/misc/batman-status.pdf>

[23] Evaluación de Protocolos de Enrutamiento Usados en las Redes Móviles Ad-hoc (Manet), Utilizando el Software Network Simulator ns2, Luis Rodríguez Pinto, ESPE, julio 2007.

[24] Metro-Scale Mesh Networking with Tropos MetroMesh™ Architecture, Tropos Networks, Julio 2007, [http://www.tropos.com/pdf/whitepapers/tropos\\_whitepaper\\_metro-scale.pdf](http://www.tropos.com/pdf/whitepapers/tropos_whitepaper_metro-scale.pdf)

## **FECHA DE ENTREGA**

El proyecto fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí: a \_\_\_\_\_ del 2009.

### **ELABORADO POR:**

---

MARIO AUGUSTO GARZÓN GONZÁLEZ  
171129660-6

### **AUTORIDADES:**

---

ING. GONZALO OLMEDO  
COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA Y  
TELECOMUNICACIONES