



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

*“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED MESH
INALÁMBRICA EN UNA ZONA RURAL”*

TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTAN
DANTE MORALES NÁJERA
FREDY LÓPEZ FONSECA

ASESOR DE TESIS
DR. JAVIER GÓMEZ CASTELLANOS



CIUDAD UNIVERSITARIA

2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: ***ING. JESÚS REYES GARCÍA***

VOCAL: ***DR. JAVIER GÓMEZ CASTELLANOS***

SECRETARIO: ***DR. MIGUEL MOCTEZUMA FLORES.***

1ER. SPTE.: ***M.I. JUVENTINO CUÉLLAR GONZÁLEZ***

2DO. SPTE.: ***DR. VÍCTOR RANGEL LICEA.***

DEDICATORIAS

Dante Morales Nájera

A Dios por haberme permitido nacer dentro del seno de una familia amorosa que me guiara por el buen camino.

A mi madre, Maria Ilda Nájera Espinosa por estar a mi lado en todo momento, siempre atenta de mis estudios, de mis problemas y preocupaciones, por haberme apoyando en todo momento, por darme los mejores consejos siempre que lo necesité y por haberme reprendido cuando fue necesario para hacer de mi una persona de bien, por estas y muchas más razones le dedico la presente tesis siendo esta el resultado de su esfuerzo y dedicación a mi persona.

A mi padre, Francisco Oscar Morales Nochebuena por haberme enseñado a hacer las cosas lo mejor posible y con la mejor disposición, por estar a mi lado en todo momento y por apoyarme en la toma de decisiones, por todos sus consejos y por ser un ejemplo a seguir de superación, liderazgo y dedicación al trabajo.

A mi hermano, Israel Morales Nájera por haber sido un ejemplo a seguir y un gran reto a superar profesional y personalmente, por apoyarme en todo y por sus buenos consejos.

A mi hermano Frank por enseñarme que cuando se quiere se puede hacer muchas cosas, que no basta con ser inteligente sino que lo importante es la disposición y las ganas de superarse.

A mis familiares, amigos y a las personas que estuvieron a mi lado apoyándome y alentándome a seguir adelante.

A todos mis profesores a lo largo de mi vida por haberme ofrecido el más valioso de los tesoros, el conocimiento.

A mi alma mater, la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de estudiar en sus aulas y darme una formación académica que dudo mucho hubiera encontrado en otra Universidad, por brindarme toda la diversidad de ambientes y formas de pensar que forjaron en mí el carácter y la forma de pensar que me ha caracterizado en los últimos años, haciendo de mí una persona de bien y con la firme convicción de no defraudar a mi universidad y a aportar algo de mi esfuerzo a mi país.

Fredy López Fonseca

Dedico este trabajo a todas aquellas personas que me apoyaron y que estuvieron conmigo en todo momento para conseguir esta meta.

No hay palabras que puedan describir mi profundo agradecimiento hacia mi madre, padre, hermano, mi novia Eimi y mi amigo Luis, quienes durante todos estos años confiaron en mí; comprendiendo mis ideales y alentándome a seguir adelante.

A la Universidad Nacional Autónoma de México que me abrió sus puertas y me permitió formarme personal y profesionalmente.

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1 "WLAN"	
1.1.1 Antecedentes	3
1.1.2 Elementos básicos de una red inalámbrica	4
1.1.3 Conclusiones del capítulo.	4
CAPÍTULO 2 "IEEE 802.11 y 802.11b"	
2.1 Introducción	5
2.2 Modos de Operación de 802.11	6
2.2.1 Modo Infraestructura	6
2.2.2 Modo Ad-Hoc	7
2.3 La capa física 802.11	7
2.4 Funciones de la Capa PHY	8
2.4.1 Espectro Ensanchado de Saltos de Frecuencia (FHSS)	9
2.4.2 Espectro Ensanchado de Secuencia Directa (DSSS)	9
2.4.2.1 HR/DSSS	10
2.4.3 802.11 Infrarrojo (IR)	11
2.5 La Capa de Enlace 802.11.	11
2.6 IEEE 802.11 en redes Mesh	13
2.7 Conclusiones del capítulo.	13
CAPÍTULO 3 "TOPOLOGÍAS DE RED"	
3.1 Definición	14
3.2. Topología Mesh	15
3.2.1 Ventajas	15
3.2.2 Desventajas.	15
3.3 Topologías de redes LAN inalámbricas.	16
3.3.1 Descripción general del funcionamiento de la modalidad de infraestructura	16
3.3.2 Descripción general del funcionamiento de la modalidad Ad-Hoc	17
3.3.3 Retos de seguridad	17
3.3.4 Retos para los usuarios móviles.	18
3.4 Conclusiones del Capítulo.	18
CAPÍTULO 4 "TECNOLOGÍA MESH"	
4.1 Descripción	19
4.2 Características de las Wons	19
4.2.1 Redes inalámbricas multi-hop	19
4.2.2 Soporte de una red Ad-Hoc y capacidad de auto-formarse, auto-sanarse y auto-organizarse	20
4.2.3 Múltiples tipos de acceso de red.	20

4.2.4	Compatibilidad e interoperabilidad en redes inalámbricas existentes	20
4.3	Diferencias entre las WMNs y las redes Ad-Hoc	20
4.3.1	Infraestructura/ backbone inalámbrica	20
4.3.2	Múltiples radios	20
4.3.3	Movilidad	21
4.3.4	Reducción de los costos de instalación.	21
4.4	Factores críticos que influyen en el desempeño de las WMNs	21
4.4.1	Técnicas de radio	21
4.4.2	Escalabilidad	22
4.4.3	Conectividad Mesh	22
4.4.4	Ancho de banda y calidad de servicio	22
4.4.5	Seguridad	22
4.4.6	Facilidad de uso	23
4.5	Capacidad en las WMNs	23
4.5.1	Capacidad y análisis	23
4.6	Protocolos para administrar la red	24
4.6.1	Administración de movilidad	24
4.6.2	Administración de la energía	24
4.6.3	Supervisión de la red	24
4.7	Conclusiones del Capitulo	25

CAPÍTULO 5 "PROCOLO DE ENRUTAMIENTO"

5.1	Enrutamiento en Redes	27
5.1.1	Sistema Autónomo	27
5.1.2	Protocolos de Vector de Distancia	27
5.1.3	Protocolos de Estado de Enlace	28
5.2	Protocolos de enrutamiento en redes Mesh	28
5.2.1	AODV	29
5.2.2	DSR	29
5.2.3	OLSR	30
5.2.4	TORA	30
5.3	Algoritmos usados en Redes Ad-Hoc	30
5.3.1	Basados en tablas de enrutamiento	31
5.3.2	Basados en enrutamiento bajo demanda	31
5.4	Protocolo AODV	31
5.4.1	Descubrimiento de rutas	32
5.4.2	Mantenimiento de rutas	36
5.5	Conclusiones del Capitulo.	37

CAPÍTULO 6 "ARQUITECTURA MESH"

6.1	Arquitectura de red y factores de diseño críticos	38
6.2	Clasificación de la arquitectura de las WMNs	39
6.2.1	Infraestructura/ Backbone	39
6.2.2	Cientes Mesh	40
6.2.3	Híbrida	40
6.2.4	Las características de las WMNs considerando la arquitectura Híbrida	41
6.3	Problema de Asignación de canal	41

6.3.1	Los principales puntos que debe cumplir un algoritmo para asignar el Canal	41
6.4	Escenarios de Aplicación	42
6.4.1	Redes Locales de Banda Ancha	42
6.4.2	Construcción Automatizada	42
6.4.3	Redes Empresariales	42
6.4.4	Redes MAN	42
6.5	Las capas del Modelo de Referencia OSI para WMN	42
6.5.1	Capa Física	42
6.5.2	Capa de Enlace	43
6.5.3	Capa de Red	43
6.5.4	Capa de Transporte	44
6.5.5	Capa de Aplicación	44
6.6	Conclusiones del Capítulo.	44

CAPÍTULO 7 "CASO DE ESTUDIO"

7.1	Descripción	46
7.2	Tecnología para Redes Mesh	46
7.2.1	Software para WMN´s	46
7.2.2	Hardware para WMN´s	48
7.3	Descripción del Locustworld Mesh Box.	50
7.4	Implantación de una red Mesh Usando MeshBoxes	52
7.5	Proveedor del Enlace Satelital	55
7.6	Propuesta de una Red Mesh en la Cabecera Municipal del Municipio de Eloxochitlán	55
7.7	Desempeño de las redes Mesh	59
7.7.1	La latencia en el descubrimiento de nuevas rutas	60
7.7.2	La calidad de conexión entre los nodos vecinos	60
7.8	Obstáculos clave	60
7.8.1	Interferencia	60
7.8.2	Transferencia inconsciente de energía	60
7.8.3	Calidad inestable en las conexiones	61
7.8.4	Densidad en la red	61
7.9	Aplicaciones	61
7.9.1	Educación a Distancia	61
7.9.2	Agricultura	62
7.9.3	Tele-medicina	62
7.10	Modelo de negocio	62
7.11	Conclusiones del Capítulo	63

CONCLUSIONES	64
GLOSARIO	66
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	68

ÍNDICE DE IMAGENES

CAPITULO 1

CAPITULO 2

Figura 2.1	802.11 y el Modelo de Referencia OSI	5
Figura 2.2	Modo Infraestructura	6
Figura 2.3	Modos Ad-Hoc	7
Figura 2.4	Modelo Básico de Referencia	8
Figura 2.5	Arquitectura de Subcapa MAC	12

CAPITULO 3

Figura 3.1	Topología de Malla	15
------------	------------------------------	----

CAPITULO 4

CAPITULO 5

Figura 5.1	Descubrimiento de ruta de nodo S a nodo D	33
Figura 5.2	Transmisión de RREQ hacia nodos vecinos	33
Figura 5.3	Flooding del Mensaje RREQ	34
Figura 5.4	No reenvío del Mensaje RREQ	34
Figura 5.5	Llegada de la petición a RREQ a nodo D	34
Figura 5.6	El nodo D no reenvía el RREQ	35
Figura 5.7	El nodo D manda un RREP	35
Figura 5.8	Se crea la ruta del nodo S al nodo D	35

CAPITULO 6

Figura 6.1	Enrutadores y Clientes Mesh	38
Figura 6.2	Infraestructura/Backbone de las WMNs	39
Figura 6.3	WMNs híbridas	40

CAPITULO 7

Imagen 7.1	Equipo Meraki	48
Imagen 7.2	Mesh Node	49
Imagen 7.3	Linksys WRT54G	49
Imagen 7.4	Mesh Box LocustWorld	50
Figura 7.5	Cabecera Municipal	56
Figura 7.6	Red Mesh en la Cabecera Municipal	58
Figura 7.7	Relación entre Interferencia, PER y Potencia de Transmisión	59

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO 1

CAPITULO 2

Tabla 2.1 Especificaciones de tasa de datos en 802.11b . 10

CAPITULO 3

CAPITULO 4

CAPITULO 5

CAPITULO 6

CAPITULO 7

Tabla 7.1 Especificaciones técnicas 51

Tabla 7.2 Opciones de configuración de radios 51

Actualmente, se está viviendo lo que puede significar una revolución en el uso de las tecnologías de la información tal y como la conocemos. Esta revolución puede llegar a tener una importancia similar a la que tuvo la adopción de Internet en el ámbito internacional. WIFI, WIMAX, GSM, WCDMA, Bluetooth e Infrarrojos son algunas de las nuevas tecnologías inalámbricas que han proliferado en los últimos años. Las tecnologías inalámbricas han contribuido considerablemente en otro fenómeno que es la movilidad, la cual ha cambiado la estructura y la topología en todo tipo de redes.

Por otra parte, los dispositivos de almacenamiento de información, que antes eran fijos, ahora son móviles y tienen conexión a otras redes en el ámbito internacional: PC portátiles, PDAs y teléfonos celulares. Por lo que, las Redes Inalámbricas (WN, de sus siglas en inglés: Wireless Networks), se están introduciendo en el mercado de consumo gracias a los precios accesibles y a un conjunto de empresarios entusiastas, que han visto las enormes posibilidades de esta tecnología.

Existen varias aplicaciones en el ámbito de las redes inalámbricas que crearán una nueva forma de utilizar la información, pues estarán al alcance de todos a través de Internet en cualquier lugar, siempre y cuando se encuentren en una zona de cobertura. Por lo que, la gente será capaz de recibir y compartir información a nivel internacional.

Las redes inalámbricas, difieren de las alámbricas por el enfoque que toman de los niveles más bajos del modelo de Referencia OSI, el nivel físico y el nivel de enlace, los cuales se definen por el estándar IEEE 802.11.

Wi-Fi (de sus siglas en inglés: Wireless Fidelity), el nombre comercial del estándar IEEE 802.11 es una tecnología novedosa y práctica que se está difundiendo rápidamente a nivel internacional. Aunque Wi-Fi es una tecnología en proceso de desarrollo, va requiriendo nuevos estándares o modificaciones en los estándares existentes, a medida que van apareciendo inconvenientes.

IEEE 802.11, está compuesta por varios comités de estandarización que desarrollan las tecnologías para el ambiente de las redes inalámbricas de área local (WLAN, de sus siglas en inglés: Wireless Local Area Networks). Los esfuerzos en las actividades de estandarización, prometen mejorar los estándares basados en la IEEE 802.11 para incrementar la interoperabilidad de los dispositivos de red, la velocidad de transmisión de paquetes y la calidad de servicio (QoS).

Wi-Fi, sin duda es una tecnología exitosa que complementa y extiende aplicaciones móviles y fijas. Es probable que la mayor parte de los dispositivos móviles, estén equipados con esta tecnología en el futuro. Por otra parte, como complemento al negocio de la tecnología fija, se podría utilizar como extensión a los accesos de banda ancha.

Las WLAN pueden utilizarse de dos formas: Modo Ad-Hoc y Modo infraestructura, dichos modos se explicaran posteriormente.

Las Redes Inalámbricas Mesh (WMN, de sus siglas en inglés: Wireless Mesh Networks), son redes con topología de infraestructura, que permiten unir otros dispositivos a la red aunque estén fuera del rango de cobertura de los Puntos de Acceso (AP, de sus siglas en inglés Access Point). Además, permiten que las Terminales se comuniquen independientemente del AP, pues los dispositivos que

actúan como Terminales, pueden no mandar directamente sus paquetes al AP, sino que pueden utilizar otras Terminales para que la información llegue a su destino. Para que esto sea posible, es necesario el contar con un protocolo de enrutamiento que permita transmitir eficazmente la información hasta su destino.

Las redes Mesh, inicialmente se emplearon para comunicar unidades militares lejanas a las zonas de cobertura de sus mandos, formando conexiones redundantes para transmitir mensajes a los altos mandos.

La topología de las redes Mesh es tolerante a fallas, pues la caída de un sólo nodo no implica la caída de toda la red. Anteriormente, no se utilizaba porque el cableado necesario para establecer la conexión entre todos los nodos era imposible de instalar y de mantener. Por lo que, la aparición de las redes inalámbricas elimina este problema, permitiéndonos disfrutar de sus grandes posibilidades y beneficios.

La principal aplicación de las Redes Mesh para México, sería en las comunidades rurales donde se carece de acceso a Internet, debido al alto costo que se requiere para infraestructura. Esto se podría solucionar si se comparte la renta de un DSL (de sus siglas en inglés: Digital Subscriber Line) entre un número pequeño de usuarios. Una red inalámbrica Mesh podría ofrecer este servicio mediante un backbone a un bajo costo.

Debido a las características inherentes, planteamos la posibilidad de implementar una red inalámbrica Mesh, la cual resuelve el problema de redundancia, haciendo de esta una red más confiable, flexible y escalable, es decir, que se pueden ir agregando nodos a la red sin necesidad de costos extras posteriores a su implementación.

La presente tesis describe el diseño y desarrollo de una WMN, auto-configurable y auto-reparable, utilizada para compartir conexiones de Internet de banda ancha en una comunidad rural, considerando posibles soluciones a los obstáculos que se pueden presentar en la creación de la red.

Llevar Internet a las zonas rurales a un bajo costo puede parecer una misión no viable, imposible o incluso una tarea poco rentable. Sin embargo, en aquellos lugares donde el aislamiento es una barrera para el desarrollo económico, el contar con una tecnología que facilite la comunicación puede convertirse en un factor de desarrollo que fomente el intercambio cultural y el acceso a los servicios.

Internet no va a satisfacer por sí misma los requerimientos de agua o de servicios médicos en una comunidad, pero sí puede convertirse en una inversión estratégica. A través de una computadora conectada a la red es posible la transmisión de datos, imágenes y sonidos. Si esa capacidad se orienta al acceso de servicios propios como la tele-educación, la tele-medicina o la tele-agricultura, por citar algunos ejemplos, Internet puede convertirse en una inversión estratégica de desarrollo para cualquier comunidad.

CAPÍTULO 1

WLAN

Las Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN, de sus siglas en inglés: Wireless Local Area Network), originalmente diseñadas como una alternativa para las redes de área local cableadas, están basadas en el estándar IEEE 802.11 mejor conocido como Wi-Fi (de sus siglas en inglés: Wireless-Fidelity). La tecnología que hay detrás de este estándar es sofisticada y la multitud de aplicaciones y entornos en los que se desarrolla, hacen que Wi-Fi sea una red de telecomunicaciones compleja, tanto de diseñar y dimensionar, como de implantar, optimizar y operar, para obtener el máximo rendimiento.

1.1 Antecedentes

La primera red WLAN registrada, Aloha Net, data de 1971 en la Universidad de Hawai cuando se conectaron siete computadoras desplegadas en cuatro islas hawaianas, trabajando alrededor de los 400 MHz. En mayo de 1985, tras cuatro años de estudios, la FCC asignó las bandas ISM 2,400-2,4835 GHz, para uso en las redes inalámbricas basadas en Espectro Expandido (SS, de sus siglas en inglés: Spread Spectrum), con las opciones DS (de sus siglas en inglés: Direct Sequence) y FH (de sus siglas en inglés: Frequency Hopping).

La técnica del Espectro Expandido es una técnica de modulación que resulta ideal para las comunicaciones de datos, debido a que crea poca interferencia. La asignación de esta banda de frecuencias propició mayor actividad en la industria y ese respaldo hizo que las WLAN empezaran a dejar el entorno del laboratorio para iniciar el camino hacia el mercado. El desarrollo comercial de las WLANs comenzó en 1990 cuando AT&T publicó WaveLAN, implementando DSSS.

En 1989 se forma el comité 802.11 con el objetivo de estandarizar las WLANs. En 1992 se crea Winforum, consorcio liberado por Apple y formado por empresas del Sector de las Telecomunicaciones y de la informática para conseguir bandas de frecuencia para los sistemas PCS (de sus siglas en inglés: Personal Communications Systems). En 1993 se constituye la IrDA (de sus siglas en inglés: Infrared Data Association) para promover el desarrollo de las WLAN basadas en enlaces infrarrojos.

En 1997 el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, IEEE, ratificó el primer estándar Ethernet inalámbrico 802.11, el cual especifica tres capas físicas: infrarrojo, FHSS a 1 y 2 Mbps, y DSSS a 1 y 2 Mbps en la banda de 2.4 GHz ISM. Las redes LAN Ethernet cableadas alcanzaban velocidades de 10 Mbps y los productos recientes eran bastante costosos, por lo que el estándar obtuvo una aceptación limitada en el mercado. Un par de años después, la especificación 802.11b incrementó la velocidad más allá de la marca crítica de los 2 Mbps, manteniendo compatibilidad con el estándar original DSSS 802.11 e incorporando un esquema de codificación más eficiente, para alcanzar velocidades de transmisión de hasta 11 Mbps.

Posteriormente, se creó la tecnología 802.11a, concebida para alcanzar velocidades de transmisión de hasta 54 Mbps en la banda de 5.2 GHz U-NII, utilizando una técnica de modulación conocida como multiplexación por división de frecuencia octogonal (OFDM). Por trabajar en la frecuencia de 5.2 GHz, 802.11a no es compatible con 802.11b ni con el inicial 802.11.

En Julio del año 2000 se formó un equipo completo de trabajo conocido como Task Group G (TGg), con la misión de definir velocidades de transmisión más altas para la banda de 2.4 GHz. Como consecuencia, en Junio del 2003 es ratificado el estándar 802.11g, el cual permite la transmisión de datos a una velocidad de 54 Mbps en la banda de 2.4 GHz, es decir, se unen las bondades de la velocidad de transmisión de 802.11a guardando compatibilidad con 802.11b.

1.2 Elementos Básicos de una Red Inalámbrica

Los elementos básicos de una red inalámbrica son los siguientes:

a) Punto de Acceso (AP, de sus siglas en inglés: Access Point)

Dispositivo inalámbrico central de una red inalámbrica WI-FI que por medio de ondas de radio frecuencia, recibe información de diferentes dispositivos móviles y la transmite al servidor de la red.

b) Dispositivos Móviles

Existen diversos dispositivos móviles con tarjetas PCMCIA o dispositivos USB capaces de recibir o enviar información a los APs o a otros dispositivos de manera inalámbrica. Actualmente, predominan los que tienen la tecnología WI-FI incorporada en el procesador, por lo que no necesitan de USB o PCMCIA.

c) Dispositivos Fijos

Pueden incorporar tecnología WI-FI y ser parte de una red inalámbrica.

1.3 Conclusiones del Capítulo

El estándar IEEE 802.11, proporciona una tecnología capaz de ofrecer aplicaciones inalámbricas a través de costos accesibles. Por lo que, será más fácil implantar redes Wi-Fi en cualquier lugar.

La evolución de los dispositivos móviles, permitirá explotar los recursos de las redes inalámbricas en zonas que carezcan de infraestructura para las telecomunicaciones.

2.1 Introducción

El comité IEEE 802, autoridad reconocida en el ámbito Mundial de la tecnología LAN, ha establecido los estándares que ha manejando la industria LAN en las últimas dos décadas, incluyendo 802.3 Ethernet, 802.5 Token Ring y 802.3z 100BASE-T Fast Ethernet. En 1997, después de siete años de trabajo, el comité IEEE 802 publicó el estándar 802.11, primer estándar oficial internacionalmente aceptado para las redes LAN inalámbricas. En septiembre de 1999, se ratificó la mejora del estándar 802.11 conocido como 802.11b "tasa alta", el cual agrega velocidades mas altas, 5.5 y 11 Mbps.

El estándar 802.11, se centra en los dos primeros niveles del modelo de Referencia OSI, la capa física y la capa de enlace de datos, mostrados en la figura 2.1. Cualquier aplicación LAN, sistema operativo de red o protocolo, incluyendo TCP/IP y Novell NetWare, será compatible con 802.11 tal como lo hace sobre Ethernet.

La arquitectura básica, características y servicios del estándar 802.11b están definidos por el estándar original 802.11. La especificación 802.11b sólo afecta la capa física, adicionando tasas de datos mayores y una conectividad más robusta.



Figura 2.1 802.11 y el Modelo de Referencia OSI

2.2 Modos de Operación de 802.11

802.11 define dos dispositivos, una estación inalámbrica, la cual usualmente es una computadora de escritorio equipada con una tarjeta de interfaz de red inalámbrica (NIC), y un AP, el cual sirve de interconexión entre la red inalámbrica y la red cableada. Un AP consiste de un radio, una interfaz de red hacia la red cableada y un software de bridging (técnica de reenvío de paquetes que usan los switches), conforme al estándar 802.1d para Bridges MAC.

Los APs actúan como una estación base (BS, de sus siglas en inglés: Base Station) para la red inalámbrica, añadiendo acceso para múltiples estaciones inalámbricas hacia la red cableada. Las terminales inalámbricas pueden ser 802.11 PC Card, PCI o ISA NICs. El estándar 802.11, define dos modos de funcionamiento: el modo de Infraestructura y el modo Ad-Hoc.

2.2.1 Modo Infraestructura

En el modo de Infraestructura, la red inalámbrica está formada de uno o más APs conectados a la infraestructura de la red cableada y un conjunto de Terminales inalámbricas. Esta configuración es llamada Conjunto de Servicios Básicos (BSS, de sus siglas en inglés: Basic Service Set).

Un Conjunto de Servicios Extendidos (ESS, de sus siglas en inglés: Extended Service Set), está compuesto de dos o más BSSs formando una subred simple. La mayoría de las WLAN corporativas funcionan en modo infraestructura, debido a que requieren acceso a las redes cableadas LAN para algunos servicios como: servidores, impresoras y enlaces a Internet. Dicho modo se muestra en la Figura 2.2.



Figura 2.2 Modo Infraestructura

2.2.2 Modo Ad-Hoc

El Modo Ad-Hoc, es un Conjunto de servicios Básicos Independientes (IBSS, de sus siglas en inglés: Independent Basic Service Set) compuesto de estaciones inalámbricas 802.11, que se comunican directamente sin usar un AP o alguna conexión hacia la red Cableada.

Este modo es útil para una fácil y rápida implementación de una red inalámbrica en cualquier lugar donde no exista infraestructura inalámbrica o no se requiera de los servicios que ofrecería el modo infraestructura. La Figura 2.3 muestra este tipo de Modo.

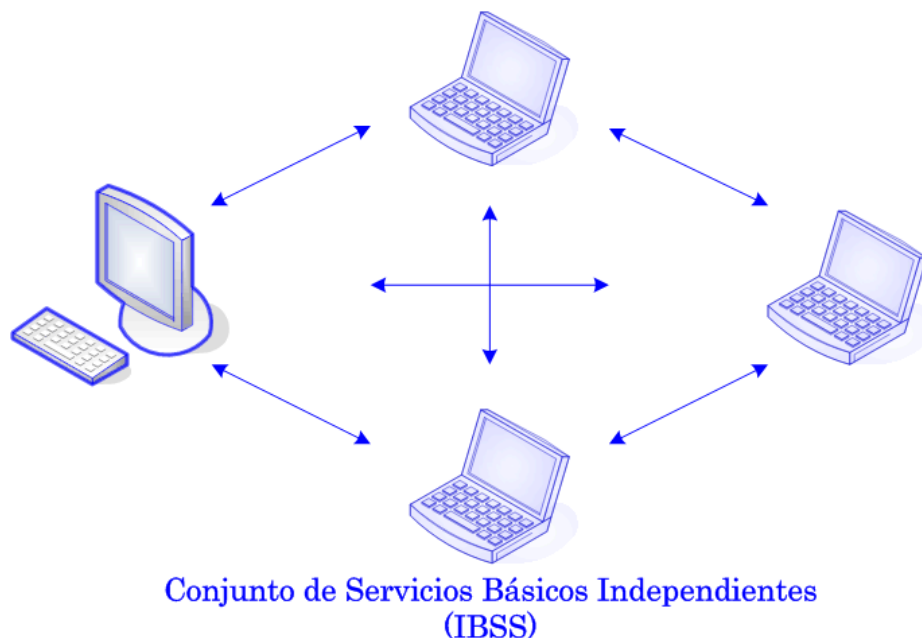


Figura 2.3 Modos Ad-Hoc

2.3 La Capa Física 802.11

La capa PHY es la interfase entre la capa MAC y el medio inalámbrico, la cual transmite y recibe las tramas de datos sobre un medio inalámbrico compartido. La capa PHY proporciona tres niveles de funcionalidad:

- Aporta un intercambio de Tramas de datos entre la capa MAC y la PHY bajo el control del Procedimiento de Convergencia de la Capa Física (PLCP, de sus siglas en inglés: Physical Layer Convergente Procedure).
- Emplea la señal de una portadora y la modulación en Espectro Ensanchado para transmitir Tramas de datos a través del medio inalámbrico bajo el control del Dependiente del Medio Físico (PMD, de sus siglas en inglés: Physical Medium Dependent).
- Proporciona un sensor de detección de portadora hacia la capa MAC, la cual indica la actividad en el medio.

Los servicios de la capa PHY para la subcapa MAC del Estándar 802.11, consisten en dos funciones de protocolo:

a) *Convergencia de capa física*

Adapta las capacidades del sistema dependiente del medio físico (PMD) al servicio de la capa PHY.

b) *Sistema PMD*

Define las características, el método de transmisión y recepción de datos a través del medio inalámbrico entre dos o más Estaciones. Cada subcapa PMD puede requerir de la definición de un sólo PLCP.

2.4 Funciones de la Capa PHY

La mayoría de las definiciones de la capa PHY contienen tres entidades funcionales: la función PMD, la función de convergencia de la capa física y la función de administración de la capa física. El modelo de referencia para la arquitectura del Estándar 802.11 se muestra en la figura 2.4.

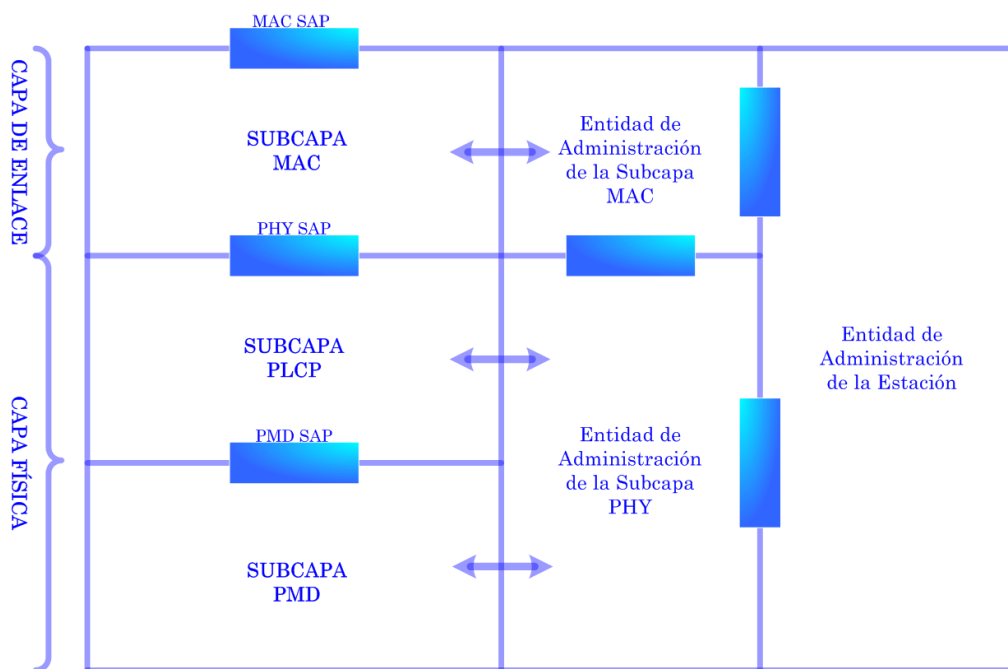


Figura 2.4 Modelo Básico de Referencia

En la función de la capa PHY mostrada, se observa que está separada en dos subcapas: la subcapa PLCP y la subcapa PMD. La función de la subcapa PLCP es la de proporcionar los mecanismos para transferir MPDU's entre dos o más Estaciones sobre la subcapa PMD.

El estándar preliminar IEEE 802.11 de 1997, especifica tres técnicas de transmisión permitidas en la capa física:

- Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia (FHSS)
- Espectro Ensanchado de Secuencia Directa (DSSS)
- Tecnología Infrarroja (IR)

El 802.11 y 802.11b operan dentro de la banda ISM de 2.4 GHz. Esta banda de frecuencias es reconocida por agencias reguladoras internacionales como la FCC (EUA), el ETSI (Europa) y el MKK (Japón) para operaciones de radio sin licencia. Por consiguiente, los productos basados en 802.11 no requieren una licencia para su uso. Las técnicas de espectro Ensanchado, además de satisfacer los requerimientos regulatorios, incrementan la confiabilidad, mejoran el rendimiento y permiten que varios productos no relacionados compartan el espectro sin que dicha cooperación sea explícita y con una interferencia mínima.

El estándar original 802.11 define tasas de datos de 1 Mbps y 2 Mbps vía ondas de radio utilizando Espectro Ensanchado de Saltos de Frecuencia (FHSS) o Espectro Ensanchado de Secuencia Directa (DSSS).

2.4.1 Espectro Ensanchado de Saltos de Frecuencia (FHSS)

Utilizando la técnica de Saltos de frecuencia, la banda de 2.4 Ghz se divide en 75 subcanales de 1 MHz. El transmisor y el receptor están debidamente sincronizados en el patrón de Saltos y el dato es enviado sobre una secuencia de subcanales. Cada conversación dentro de una red 802.11 ocurre sobre un patrón de Saltos diferente y los patrones son diseñados para minimizar la posibilidad de que dos transmisores utilicen el mismo subcanal simultáneamente.

La técnica FHSS es confiable para un diseño de radio simple, pero está limitada a velocidades no mayores de 2 Mbps. Esta limitación tiene que ver principalmente con las regulaciones de la FCC que restringen el ancho de banda del subcanal a 1 Mhz. Estas regulaciones obligan a los sistemas FHSS a dispersar su uso a lo largo de la banda de 2.4 Ghz, lo cual implica la existencia de saltos frecuentes.

Tres conjuntos diferentes de secuencias de saltos son establecidos con 26 secuencias de saltos por conjunto. Diferentes secuencias de saltos permiten a múltiples BSSs coexistir en la misma área geográfica, esto es importante para reducir la congestión y maximizar el rendimiento (throughput) en un BSS. La razón de tener tres diferentes conjuntos es para evitar periodos de colisión prolongados entre diferentes secuencias de saltos en un conjunto.

2.4.2 Espectro Ensanchado de Secuencia Directa (DSSS)

En contraste, la técnica de señalización de Secuencia Directa divide la banda de 2.4 GHz en 14 subcanales de 22 MHz cada uno. Los canales adyacentes se traslapan unos con otros parcialmente, con tres de los 14 que no se traslapan. Los datos son enviados a través de uno de esos canales de 22 MHz sin saltar a otros canales. Para compensar el ruido en un canal dado, se utiliza la técnica denominada "chipping", Esta técnica consiste en la generación de un patrón de bits redundante llamado señal de chip para cada uno de los bits que componen la señal de información. La longitud del chip, tiene una probabilidad mayor de que los datos puedan ser recuperados.

La redundancia inherente de cada chip combinada con la dispersión de la señal a través del canal de 22 Mhz, proporciona una manera de verificación y corrección de errores; en caso de que una parte de la señal sea dañada, esta puede ser recuperada, minimizando la necesidad de retransmisión.

La contribución principal del estándar 802.11b al estándar inalámbrico LAN, es la estandarización de dos nuevas velocidades soportadas en la capa física, 5.5 Mbps y 11 Mbps. Para lograr lo anterior, la técnica DSSS fue seleccionada como la única

técnica de capa física a utilizar. Como se mencionó anteriormente, los saltos de frecuencia no pueden soportar velocidades más altas sin la violación de las regulaciones actuales de la FCC, lo cual implica que los sistemas 802.11b interoperen con los sistemas DSSS de 1 Mbps y 2 Mbps de 802.11, pero no funcionan con los sistemas FHSS de 1 Mbps y 2 Mbps de 802.11.

El estándar original de 802.11 para DSSS especifica un código de chipping de 11 bits - llamado secuencia Barker- para codificar todos los datos enviados sobre el aire. Cada secuencia de 11 chips representa una señal de bits de datos y es convertida a símbolos, que pueden ser enviados a través del aire. Estos símbolos son transmitidos a una tasa de símbolo de 1 MSps (1 millón de Símbolos por Segundo), utilizando la técnica llamada modulación binaria en fase por desplazamiento (BPSK, de sus siglas en inglés: Binary Phase Shift Keying). En el caso de 2 Mbps, se utiliza la modulación en cuadratura por desplazamiento en fase (QPSK, de sus siglas en inglés: Quadrature Phase Shift Keying), la cual duplica la tasa de datos disponible en BPSK, al mejorar la eficiencia en el uso del ancho de banda.

2.4.2.1 HR/DSSS

Para incrementar la tasa de datos en el estándar 802.11b, en 1998 Lucent Technologies y Harris Semiconductor propusieron a la IEEE un estándar llamado CCK (de sus siglas en inglés: Complementary Code Keying), el cual utiliza un conjunto de 64 códigos únicos de 8 bits, de esta manera hasta 6 bits pueden ser representados por un código, en lugar de utilizar 1 bit representado por un símbolo Barker. Como un conjunto, estos códigos tienen propiedades matemáticas únicas que les permite ser correctamente distinguidos uno de otro por el receptor, aún en presencia de ruido e interferencia multi-trayectoria (Por ejemplo, interferencia causada por recibir múltiples reflexiones dentro de un edificio).

En la tabla 2.1, se ilustran las tasas de datos y sus respectivas diferencias.

Tasa de datos	Longitud del código	Modulación	Tasa de símbolo	Bits/símbolo
1 Mbps	11 (Secuencia Barker)	BPSK	1 MSps	1
2 Mbps	11 (Secuencia Barker)	QPSK	1 MSps	2
5.5 Mbps	8 (CCK)	BPSK	1.375 MSps	4
11 Mbps	8 (CCK)	QPSK	1.375 MSps	8

Tabla 2.1.- Especificaciones de tasa de datos en 802.11b

Las WLANs 802.11b emplean conmutación de tasas de transmisión dinámicas, para soportar ambientes ruidosos y rangos mayores de cobertura. Cuando los dispositivos se mueven mas allá del rango óptimo para operar a 11 Mbps, transmitirán a velocidades más bajas, 5.5, 2, y 1 Mbps. Por otra parte, si el dispositivo regresa dentro del rango de transmisiones de alta velocidad, la conexión automáticamente mejorará. Esto se debe a que los dispositivos 802.11b conforme se alejan del rango óptimo, los radios se adaptan y utilizan un mecanismo de codificación menos complejo para enviar datos.

2.4.3 802.11 Infrarrojo

La especificación de la técnica IR emplea Modulación por Posición de Pulsos (PPM, de sus siglas en inglés: Pulse Position Modulation), para transmitir datos usando radiación IR. PPM varía la posición de un pulso con el propósito de transmitir diferentes símbolos binarios. De esta manera la técnica de IR puede transmitir información a 1 o 2 Mbps.

Para transmitir a 1Mbps, se utilizan 16 símbolos para transmitir 4 bits de información (16- PPM), mientras que en el caso de 2 Mbps, se utilizan 4 símbolos para transmitir 2 bits de información (4-PPM). Los símbolos de datos siguen el código Gray. Este código tiene la propiedad que un pequeño error en la sincronización del tiempo produce un sólo bit en error en la salida. Estos sistemas comparten parte del espectro que utiliza el sol, lo cual lo hace práctico sólo para ambientes dentro de edificios.

2.5 La Capa de Enlace 802.11

La capa de enlace del 802.11 consiste en dos subcapas: Logical Link Control (LLC, de sus siglas en inglés: Control de Enlace Lógico) y Media Access Control (MAC, de sus siglas en inglés: Control de Acceso al Medio). El estándar 802.11 utiliza el mismo LLC que el 802.2, pero el nivel MAC es diferente.

La subcapa MAC esta diseñada para proveer comunicaciones robustas y seguras sobre un medio inalámbrico a través del monitoreo del medio al momento de transmitir. Además, se encarga de todos los procedimientos relacionados con la reservación del medio, formato de la Trama, corrección de errores y seguridad.

En las redes inalámbricas podemos diferenciar 3 tipos de tramas:

- Tramas de administración, para transmitir información de administración
- Tramas de datos, para transmitir datos
- Tramas de control, para controlar el acceso al medio (RTS, CTS y ACK)

Para 802.3 Ethernet LANs, el Protocolo de Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones (CSMA/CD, de sus siglas en inglés: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), controla las colisiones que ocurren entre dos o más dispositivos que tratan de comunicarse simultáneamente en la red LAN. Por otra parte, en una red 802.11, no es posible la detección de colisiones, debido a que la detección de portadora está en función de la posición del receptor. En el medio inalámbrico, la intensidad de la señal decae dependiendo de la distancia. Sólo los nodos dentro de un radio específico del transmisor pueden detectar la portadora en el canal. Esta detección de portadora dependiente de la ubicación resulta en nodos ocultos, aquellos que están dentro del rango de cobertura del receptor deseado y fuera del rango de cobertura del transmisor, y nodos expuestos, aquellos que están dentro del rango de cobertura del transmisor y fuera del rango de cobertura del receptor.

Tomando en cuenta esta diferencia, 802.11 utiliza un protocolo ligeramente modificado conocido como Protocolo de Acceso Múltiple por detección de portadora evitando colisiones (CSMA /CA, de sus siglas en inglés: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). CSMA / CA trata de evitar colisiones empleando paquetes explícitos de Acuse de Recibo (ACK, de la palabra en inglés: Acknowledgement), lo cual implica que un paquete ACK es enviado por la estación receptora para confirmar que el paquete de datos llegó satisfactoriamente.

El protocolo CSMA/CA funciona de la siguiente manera:

- 1) Una estación que desee transmitir comprueba si el medio esta ocupado, si el canal esta libre, la estación esta autorizada a transmitir, la estación espera un tiempo aleatorio y entonces transmite al medio si este continua libre. Si por el contrario el canal esta ocupado, la estación dejará la transmisión para más tarde.
- 2) Si el paquete transmitido se recibe correctamente, la estación receptora envía un ACK.
- 3) Si la estación emisora recibe el ACK se completa el proceso. Si el ACK no es detectado por la estación emisora, porque el paquete original no ha sido recibido correctamente ó porque el ACK se ha perdido, se asume que se ha producido una colisión y el paquete de datos se retransmite de nuevo después de esperar otro tiempo aleatorio.

La arquitectura de la subcapa MAC, se ilustra en la Figura 2.5



Figura 2.5 Arquitectura de la Subcapa MAC

Para servicios síncronos, como vídeo y voz, existe una funcionalidad opcional llamada Función Coordinación Puntual (PCF, de sus siglas en inglés: Pointed Coordination Function), en la que el AP controla el acceso al medio y emite peticiones de sondeo a las estaciones para transmitir datos. El AP sondeará cada estación en busca de datos y después de un tiempo cambia a la siguiente estación. El hecho de que un AP tenga el control de acceso al medio y sondee las estaciones hace que no sea eficaz para redes grandes.

El mecanismo de fragmentación de paquetes permite hacer control de congestión. Por lo que, el tamaño de los paquetes en una LAN inalámbrica es importante, debido a que la probabilidad de que un paquete se deteriore aumenta con su tamaño, si se deteriora, su retransmisión tendrá un costo menor. Esta fragmentación reduce la necesidad de retransmisión y mejora el funcionamiento de la red completa.

La capa MAC es la responsable de reconstruir los fragmentos recibidos, siendo el proceso transparente a los protocolos de nivel superior.

2.6 IEEE 802.11 en Redes Mesh

Actualmente, las redes Mesh basadas en IEEE 802.11 pueden alcanzar una tasa máxima de 11 Mbps (802.11b) y 54 Mbps (802.11a/g). Los investigadores esperan que 802.11n incremente de 10 a 20 veces la velocidad de las conexiones Wi-Fi. Aunque muchos usuarios no se beneficiarán de la velocidad incrementada, debido a limitaciones en la infraestructura de su red.

Universidades y Empresas a nivel mundial, han realizado diversas pruebas académicas y desarrollos comerciales de las redes Mesh utilizando la tecnología inalámbrica. Sin embargo, en los últimos años no se han desarrollado avances significativos en las redes Mesh, debido a que se utilizan tecnologías propietarias, aún cuando la competencia y las presiones económicas influyen en la aceptación de estas redes. Por otra parte, los protocolos para las redes Ad-Hoc 802.11 son insuficientes en las redes Mesh, debido a la deficiencia de escalabilidad en el protocolo MAC, resultando un pobre desempeño en la red.

Debido a que los usuarios y los APs se van agregando conforme incrementan las redes Mesh, dando lugar a una arquitectura redundante y escalable, se han creado diversos grupos de trabajo para abordar las siguientes definiciones: QoS, especificaciones de la arquitectura, seguridad, protocolos de enrutamiento y desarrollo de los nuevos protocolos MAC.

2.7 Conclusiones del Capítulo

Para implementar eficientemente redes inalámbricas, sería deseable que la infraestructura fuera similar a las redes cableadas, tanto en prestaciones como en alcance, contemplando la flexibilidad y los bajos costos de instalación.

El alcance de las redes inalámbricas, para el caso de la tecnología IEEE 802.11b, es comparable a la de un medio cableado en buenas condiciones ambientales, aproximadamente de 100m a una velocidad de 11 Mbps. Para obtener mayores velocidades, es necesario utilizar tecnologías basadas en 802.11a u 802.11g. El estándar 802.11a funciona con mayores frecuencias, las cuales llevan implícita una alta energía, siendo muy fácil alterar la señal, por cualquier ruido o interferencia.

CAPÍTULO 3

TOPOLOGÍA DE RED MESH

3.1 Definición

La topología de red es la disposición física en la que se conecta una red de nodos. Un nodo dado tiene una o más conexiones con diferentes variedades de configuraciones a otros nodos dependiendo de su estructura. La conexión más sencilla se presenta solo entre dos nodos.

Una topología de red esta determinada por la configuración de las conexiones entre los nodos. Por lo que, se analiza la distancia entre nodos, interconexiones físicas y la tasa de transmisión. Los tipos de señales no importan en una topología de red, aunque interfiere en la selección de la configuración de esta.

A continuación se describen las diferentes topologías existentes:

a) Topología de Bus

Topología pasiva caracterizada por una dorsal principal con los nodos interconectados a lo largo de la dorsal, en la que las computadoras se aseguran de que no haya nadie más transmitiendo para enviar sus paquetes de información.

b) Topología de Anillo

Conecta los dispositivos de red uno tras otro y transmite la información sobre una dirección y es considerada como una topología activa, debido a que los nodos en la red retransmiten los paquetes que reciben y los envían al siguiente nodo en la red.

c) Topología de Estrella

Conecta cada nodo a un Hub central, el cual puede ser Activo, Pasivo o Inteligente. Un Hub pasivo es solo un punto de conexión y no requiere energía eléctrica. Un Hub activo, el más común, es actualmente un repetidor con múltiples puertos; impulsa la señal antes de pasarla al siguiente nodo. Un Hub Inteligente es un Hub activo pero con capacidad de diagnóstico, puede detectar errores y corregirlos.

d) Topología Mesh

Esta topología está dentro del ámbito de la tesis, por lo que se le dedicará mayor atención en el presente documento.

e) Topologías híbridas

La palabra híbrida se utiliza en diferentes maneras en referencia a topologías de redes. Se usa el término híbrido para describir redes que corren con múltiples protocolos, sistemas operativos, y plataformas. Una topología híbrida siempre surge cuando se conectan dos diferentes topologías básicas de red.

3.2 Topología Mesh

La topología de malla, Mesh, utiliza conexiones redundantes entre los nodos de la red. Básicamente es una red con topología de infraestructura, que permite unir a la red nodos que a pesar de estar fuera del rango de cobertura de los APs, quedan dentro del rango de cobertura de algún transmisor que directa o indirectamente está dentro del rango de cobertura del AP.

Por otra parte, esta topología permite que los nodos se comuniquen independientemente del AP entre sí. Por lo que, los nodos que actúan como transmisores pueden no mandar directamente sus paquetes al AP, sino que pueden pasárselos a otros nodos para que lleguen a su destino. Esta topología es ampliamente utilizada en aplicaciones militares.

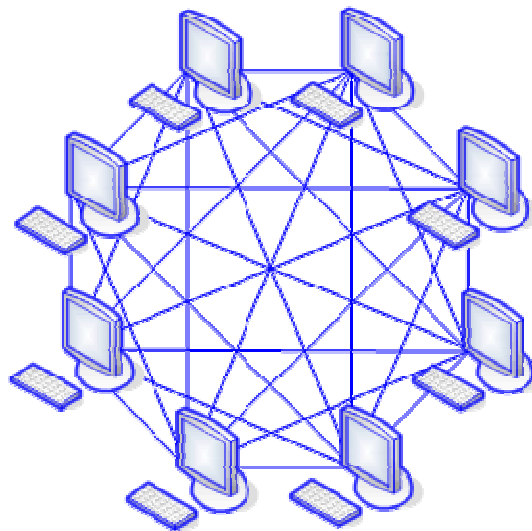


Figura 3.1 Topología de Malla

3.2.1 Ventajas

Es tolerante a fallos, pues la caída de un sólo nodo no implica la caída de toda la red.

Cada nodo establece una comunicación con todos los demás nodos.

3.2.2 Desventajas

Se requiere de una gran cantidad de enlaces para implementar una red Mesh alámbrica, debido a que el número de las conexiones crece espontáneamente cada vez que se añade un nodo.

3.3 Topologías de Redes LAN Inalámbricas

Las redes LAN inalámbricas se construyen utilizando dos topologías básicas. Para estas topologías se utilizan distintos términos, como administradas y no administradas, alojadas y par a par, e infraestructura y "Ad-Hoc". En este documento se utilizarán los términos "Infraestructura" y "Ad-Hoc", relacionados con las mismas distinciones básicas de topología.

Una topología de infraestructura es aquella que extiende una red LAN cableada para incorporar dispositivos inalámbricos mediante una AP, la cual une la red LAN inalámbrica y la red LAN cableada, sirviendo de controlador central en la red LAN inalámbrica. Por otra parte, el AP coordina la transmisión y recepción de múltiples dispositivos inalámbricos dentro de una extensión específica; la extensión y el número de dispositivos dependen del estándar de conexión inalámbrica que se utilice y del producto. En la modalidad de infraestructura, pueden existir varios APs para dar cobertura a una zona grande o uno sólo para una zona pequeña, un hogar o un edificio.

En una topología Ad-Hoc, los dispositivos inalámbricos crean la red LAN y no existe ningún controlador central ni APs. Cada dispositivo se comunica directamente con los demás dispositivos de la red, en lugar de pasar por un controlador central. Esta topología es práctica en lugares en los que pueden reunirse pequeños grupos de equipos que no necesitan acceso a otra red. Ejemplos de entornos en los que podrían utilizarse redes inalámbricas Ad-Hoc, serían un domicilio sin red con cable o una sala de conferencias donde los equipos se reúnen con regularidad para intercambiar ideas.

3.3.1 Descripción General del Funcionamiento de la Modalidad de Infraestructura

A continuación se describe de manera general el funcionamiento de la modalidad de infraestructura:

- 1) La Terminal inalámbrica debe identificar los APs y las redes disponibles, proceso que se lleva a cabo mediante el control de las tramas de señalización procedentes de los puntos de acceso que se anuncian a sí mismos o mediante el sondeo activo de una red específica con tramas de sondeo.
- 2) La Terminal elige una red entre las que están disponibles e inicia un proceso de autenticación con el AP. Una vez que el AP y la Terminal se han verificado mutuamente, comienza el proceso de asociación.
- 3) La asociación permite que el AP y la Terminal intercambien información y datos. El AP puede utilizar esta información y compartirla con otros APs de la red para dispersar la información de la ubicación actual de la Terminal en la red. La Terminal sólo puede transmitir o recibir tramas en la red después de que haya finalizado la asociación.

En la modalidad de infraestructura, todo el tráfico de red procedente de las Terminales inalámbricas, pasa por un AP para llegar a su destino en la red LAN cableada o inalámbrica.

El acceso a la red se administra mediante un protocolo que detecta las portadoras y evita las colisiones. Las Terminales se mantienen a la escucha de las transmisiones de datos durante un intervalo especificado antes de intentar transmitir, ésta es la

parte del protocolo que detecta las portadoras. Antes de transmitir, la Terminal debe esperar durante un intervalo, después de que la red esté despejada. Esta demora, junto con la transmisión por parte de la estación receptora de una confirmación de recepción correcta, representan la parte del protocolo que evita las colisiones. Es importante resaltar que en la modalidad de infraestructura, el emisor o el receptor es siempre un AP.

Dado que es posible que algunas Terminales no se escuchen mutuamente, aunque ambas estén dentro del alcance del AP, se toman medidas especiales para evitar las colisiones. Entre ellas, se incluye una clase de intercambio de reserva que puede tener lugar antes de transmitir un paquete mediante un intercambio de tramas "petición para emitir" y "listo para emitir", además de un vector de asignación de red que se mantiene en cada Terminal de la red. Aunque una Terminal no pueda oír la transmisión de otra Terminal, oirá la transmisión de "listo para emitir" desde el AP y puede evitar transmitir durante ese intervalo.

El proceso de movilidad de un AP a otro no está completamente definido en el estándar. Sin embargo, la señalización y el sondeo que se utilizan para buscar APs y un proceso de reasociación que permite a la estación asociarse a un AP diferente, junto con protocolos específicos de otros fabricantes entre APs, proporcionan una transición fluida.

La sincronización entre las Terminales de la red se controla mediante las tramas de señalización periódicas enviadas por el AP. Estas tramas contienen el valor de reloj del AP en el momento de la transmisión, por lo que sirve para comprobar la evolución en la estación receptora. La sincronización es necesaria por varias razones relacionadas con los protocolos y esquemas de modulación de las conexiones inalámbricas.

3.3.2 Descripción General del Funcionamiento de la Modalidad Ad-Hoc

Después de explicar el funcionamiento básico de la modalidad de infraestructura, del modo Ad-Hoc se puede decir que no tiene AP. En esta red sólo existen dispositivos inalámbricos presentes. Muchas de las operaciones que controlaba el AP, como la señalización y la sincronización, son controladas por una Terminal. La red Ad-Hoc no cuenta todavía de algunos avances como retransmitir paquetes de datos entre dos Terminales que no se escuchan mutuamente.

3.3.3 Retos de Seguridad

Una red cableada está dotada de una seguridad inherente, debido a que un posible ladrón de datos debe obtener acceso a la red a través de una conexión cableada. Sobre este acceso físico se pueden superponer otros mecanismos de seguridad.

Cuando la red ya no se sustenta con cables, la libertad que obtienen los usuarios también se hace extensiva al posible ladrón de datos. Ahora, la red puede estar disponible en vestíbulos e incluso fuera del edificio. En un entorno doméstico, la red podría extenderse hasta los hogares vecinos si el dispositivo de red no adopta o no utiliza correctamente los mecanismos de seguridad.

Desde sus comienzos, 802.11 ha proporcionado algunos mecanismos de seguridad básicos para impedir que esta libertad mejorada sea una posible amenaza. Por ejemplo, los APs se pueden configurar con un identificador del conjunto de servicios (SSID). La tarjeta NIC también debe conocer este SSID para asociarlo al AP y así proceder a la transmisión y recepción de datos en la red. Esta seguridad, si se llegase a considerar como tal, es muy débil debido a las siguientes razones:

- Todas las tarjetas NIC y todos los AP conocen perfectamente el SSID
- El SSID se envía por ondas de manera transparente (incluso es señalado por el AP)
- La tarjeta NIC o el controlador pueden controlar localmente si se permite la asociación en caso de que el SSID no se conozca
- No se proporciona ningún tipo de cifrado a través de este esquema

Aunque este esquema puede plantear otros problemas, es suficiente para detener al intruso más despreocupado.

Las especificaciones 802.11 proporcionan seguridad adicional mediante el algoritmo WEP (Wired Equivalent Privacy). WEP proporciona a 802.11 servicios de autenticación y cifrado. El algoritmo WEP define el uso de una clave secreta de 40 bits para la autenticación y el cifrado, y muchas implementaciones de IEEE 802.11 también permiten claves secretas de 104 bits. Este algoritmo proporciona la mayor parte de la protección contra la escucha y atributos de seguridad física que son comparables a una red con cable.

Una limitación importante de este mecanismo de seguridad, es que el estándar no define un protocolo de administración de claves para la distribución de las mismas. Esto supone que las claves secretas compartidas se entregan a la estación inalámbrica IEEE 802.11 a través de un canal seguro independiente del IEEE 802.11.

Para proporcionar un mejor mecanismo para el control de acceso y seguridad, es necesario incluir un protocolo de administración de claves en la especificación. Para hacer frente a este problema se creó específicamente el estándar 802.1x.

3.3.4 Retos para los Usuarios Móviles

Cuando un usuario o una Terminal se desplaza de un AP a otro, se debe mantener una asociación entre la tarjeta NIC y un AP para mantener la conectividad de la red. Esto puede generar un problema complicado si la red es grande y el usuario debe cruzar límites de subredes o dominios de control administrativo.

Si el usuario cruza un límite de subred, la dirección IP asignada originalmente a la estación puede dejar de ser adecuada para la nueva subred. Además, si la transición supone cruzar dominios administrativos, es posible que la Terminal ya no tenga permiso de acceso a la red en el nuevo dominio basándose en sus credenciales.

3.4. Conclusiones del Capítulo

El elegir la topología de red a usar para nuestra red es un aspecto importante, debido a que existen varias topologías de red, algunas fáciles de implementar pero no tan confiables en caso de falla en alguno de sus nodos, como es el caso de una topología de Bus, otras en cambio muy seguras pero que requieren de demasiada infraestructura, hablando de cable en redes alámbricas. Sin embargo nuestra situación es totalmente ajena a las limitaciones que se presentan al implementar redes alámbricas, es por eso, que la topología de red en forma de Malla es la mejor opción a utilizar en esta propuesta de implementación de una Red Inalámbrica Mesh en una zona Rural, siendo esta, una topología muy confiable en caso de falla en alguno de sus nodos, debido a que cada nodo esta conectado a todos los demás nodos existentes de la red.

4.1 Descripción

Una WMN es una forma de enrutar datos, voz e instrucciones entre nodos. Permite comunicaciones continuas y la re-configuración de la red en trayectorias bloqueadas mediante saltos de nodo a nodo hasta que la conexión pueda ser establecida. Por lo que, la red puede operar aún cuando la conexión entre nodos se pierda, dando como resultado mayor confiabilidad al usuario.

Las WMNs se caracterizan en que cada nodo le proporciona conectividad a los nodos adyacentes, con lo cual se logra eliminar problemas ocasionados por obstáculos que bloquean la transmisión de información. Además es posible suministrar más de una ruta para cada nodo permitiendo un sistema más robusto. También prometen eliminar el problema de la interferencia, ya que cada nodo transmite a muy poca potencia y se hace un uso más eficiente del ancho de banda disponible.

La infraestructura de las WMNs crea un medio de transporte entre APs alámbricos y enrutadores inalámbricos, lo cual provoca una reducción de costos en el transporte de información, por lo que se hace factible una gran cobertura e incrementa su confiabilidad.

El principio de las WMNs es similar al de la red de Internet, puesto que los paquetes que viajan en una red alámbrica común de Internet saltan de un enrutador a otro hasta que logran encontrar su destino. La capacidad de enrutamiento dinámico es lo que permite que esto suceda. Para implementar este tipo de enrutamiento en las WMNs, cada dispositivo necesita enviar la información a cada dispositivo con el que se encuentre conectado, casi en tiempo real. Esto implica que cada dispositivo establezca que hacer con el dato que recibe; si dejarlo pasar o simplemente tirarlo. El algoritmo de enrutamiento utilizado debe asegurar que los datos tomen la ruta más apropiada y rápida para llegar a su destino.

4.2 Características de las WMNs

Las características de las WMNs se describen a continuación. Con base a estas características, las WMNs pueden ser consideradas como un tipo de redes Ad-Hoc, debido a la carencia de infraestructura alámbrica existente en redes celulares o redes Wi-Fi.

4.2.1 Redes Inalámbricas Multi-hop

Extender el rango de cobertura de las redes inalámbricas actuales sin sacrificar la capacidad del canal es uno de los objetivos a desarrollar de las WMNs. Para satisfacer estos requisitos, las redes basadas en multi-hop son indispensables para alcanzar un alto rendimiento en el procesamiento sin sacrificar el rango de radio efectivo. Para lo anterior, son necesarias conexiones de corta distancia, menor interferencia entre nodos y mayor eficiencia en el re-uso de frecuencia.

4.2.2 Soporte de una Red Ad-Hoc y Capacidad de Auto-configurarse, Auto-sanarse y Auto-organizarse

La flexibilidad en la arquitectura, la conectividad Mesh, es decir, conexiones multipunto a multipunto y la fácil configuración de las WMNs incrementan el desempeño de la red. Debido a estas características, las WMNs tienen una baja inversión por adelantado y la red puede crecer gradualmente conforme sea necesario.

4.2.3 Múltiples Tipos de Acceso de Red

En las WMNs, los backhails utilizados para acceder a la Internet y las comunicaciones punto a punto (P2P, de sus siglas en inglés: Peer-To-Peer) se apoyan mutuamente.

4.2.4 Compatibilidad e Interoperabilidad en Redes Inalámbricas Existentes

Las WMNs construidas sobre la tecnología Wi-Fi, deben ser compatibles con diferentes estándares con el propósito de apoyar a los clientes convencionales. Las WMNs también necesitan ser inter-operables con otras redes inalámbricas como las redes Wi-MAX y redes celulares.

4.3 Diferencias entre las WMNs y las Redes Ad-Hoc

Mientras las WMNs requieren de las técnicas empleadas en redes Ad-Hoc, se necesitan algoritmos más sofisticados para proporcionar capacidades adicionales a los nodos Mesh. Para ser más específicos, en lugar de tratarse de otro tipo de redes Ad-Hoc, las WMNs ayudan a diversificar las capacidades de las redes Ad-Hoc. Como consecuencia, en la actualidad las redes Ad-Hoc pueden ser consideraras como un subconjunto de las WMNs. Para ilustrar este punto, las diferencias entre las redes Ad-Hoc y las WMNs se describen a continuación. En esta comparación, se resumen todas las ventajas de las WMNs.

4.3.1 Infraestructura/ Backbone Inalámbrica

Las WMNs consisten de un backbone inalámbrico con enrutadores Mesh. Los backbones inalámbricos nos proporcionan una amplia cobertura, conectividad y robustez al ruido e interferencias. Sin embargo, la conectividad en las redes Ad-Hoc depende de contribuciones individuales de los usuarios finales, lo cual no es muy confiable.

4.3.2 Múltiples Radios

A diferencia de las redes Ad-Hoc, los enrutadores Mesh pueden ser equipados de múltiples radios, para incrementar el desempeño de las funciones de acceso y enrutamiento. Esto habilita la separación de dos principales tipos de tráfico en el dominio inalámbrico. Mientras el enrutamiento y la configuración se realizan en los enrutadores Mesh, el acceso a la red mediante usuarios finales puede ser realizado con diferentes radios.

4.3.3 Movilidad

Como el enrutamiento en las redes Ad-Hoc utilizan a los usuarios finales, la topología y conectividad de la red, dependen del movimiento de los usuarios. Esto impone desafíos en los protocolos de enrutamiento y en la configuración de la red.

4.3.4 Reducción de los Costos de Instalación

Actualmente, se realizan esfuerzos para proporcionar conexión a Internet de manera inalámbrica en redes LAN a través de hot-spots pertenecientes a la tecnología Wi-Fi. Básicamente, un hot-spot es un área que esta siendo usada por una WLAN, donde los clientes inalámbricos tienen acceso a Internet a través de APs basados en la tecnología Wi-Fi.

Para asegurar una cobertura casi universal en una zona escalable, es necesario dispersar un gran número de APs debido a la cobertura limitada de los nodos Mesh. La ventaja de esta solución es un incremento inaceptable en los costos de infraestructura en el caso de que se requiera de conexiones alámbricas. Por otra parte, como tenemos conexiones inalámbricas en nuestra WMN, la construcción de los backbones inalámbricos reduce enormemente los costos de infraestructura porque una WMN solamente necesita unas cuantas conexiones alámbricas en el backbone.

4.4 Factores Críticos que Influyen en el Desempeño de las WMNs

Antes de que una red sea diseñada y funcional, existen factores que influyen críticamente en su desempeño y que necesitan ser considerados. Para las WMNs, los factores críticos se resumen a continuación:

4.4.1 Técnicas de Radio

En años recientes, se han utilizado diversas herramientas para incrementar la capacidad y flexibilidad de los sistemas inalámbricos. Como ejemplo podemos mencionar las antenas inteligentes con buen direccionamiento y sistemas de múltiples entradas y múltiples salidas (MIMO, de sus siglas en inglés: Multiple-Input and Multiple-Out).

Para mejorar el desempeño de un radio inalámbrico, es necesario desarrollar más tecnologías de radio que puedan ser configurables. Aunque las tecnologías de radio existentes se encuentran todavía en desarrollo, se espera que sean la plataforma futura para las redes inalámbricas, debido a su capacidad de control dinámico. Estas tecnologías de radio inalámbricas avanzadas requieren de un revolucionario diseño en las últimas capas del modelo de referencia OSI.

4.4.2 Escalabilidad

La escalabilidad es indispensable en las necesidades de las WMNs. Sin ayuda de esta característica, el desempeño de la red se degrada significativamente, mientras que el tamaño de la red aumenta. Por ejemplo, los protocolos de enrutamiento pueden no encontrar una trayectoria confiable para el paquete de información, los protocolos de transporte pueden perder conexión a la red y los protocolos del MAC pueden experimentar una reducción considerable en el rendimiento del procesamiento de información.

4.4.3 Conectividad Mesh

Gran cantidad de ventajas de las WMNs se originan en la conectividad. Para asegurar una conectividad Mesh confiable, es necesario tener algoritmos de control en las topologías de red y que la red sea auto-organizable.

4.4.4 Ancho de Banda y Calidad de Servicio

La mayoría de las aplicaciones de las WMNs se encuentran en los servicios de ancho de banda (Bw, de sus siglas en inglés: Band Width) con requerimientos heterogéneos de la calidad de servicio (QoS, de sus siglas en Inglés: Quality of Service).

4.4.5 Seguridad

La seguridad siempre ha sido un factor crítico para el desarrollo y administración de las WMNs. Las Redes Virtuales Privadas (VPN, de sus siglas en inglés: Virtual Private Networking), son posibles sobre redes LAN inalámbricas; implementadas con algoritmos que utilicen claves de encriptación para proporcionar seguridad virtual en las trayectorias a lo largo de la red. Algunas redes LAN inalámbricas comerciales proporcionan directamente servicios de autenticación, autorización y contabilidad (AAA, de sus siglas en inglés: Authentication, Authorization, and Accounting). AAA esta desarrollada a través de servidores centralizados tales como RADIUS, de sus siglas en inglés: Remote Authentication Dial-In User Service. Sin embargo, el esquema centralizado no es escalable en las WMNs. Similar a las redes Ad-Hoc móviles, las WMNs todavía carecen de soluciones eficientes y escalables debido a la vulnerabilidad de los canales, ausencia de infraestructura y a los cambios dinámicos de las topologías de red.

Los atacantes de la red pueden anunciar actualizaciones en los protocolos de enrutamiento. Otro tipo de ataques se presenta en la transmisión de los paquetes de información, es decir, el atacante no puede cambiar las tablas de enrutamiento, pero si puede cambiar la trayectoria del paquete y hacer que los nodos legítimos de la red no hagan caso en las especificaciones de los protocolos de enrutamiento. Algunos nodos malévolos pueden acortar los flujos entre nodos legítimos. Los mismos tipos de ataques en protocolos de enrutamiento pueden ocurrir en protocolos MAC, lo cual, ocasiona que la red se congestione gracias a los nodos malévolos.

Algunos atacantes pueden crear fallas considerables en la red utilizando inadecuadamente los protocolos criptográficos primitivos. En un protocolo criptográfico el intercambio de información entre usuarios ocurre frecuentemente. Los usuarios emplean un protocolo de intercambio que depende de terceros

supuestamente confiables. Sin embargo, estos terceros confiables no son permitidos en las WMNs, debido a la carencia de infraestructura. Por lo que, otro esquema de intercambio, llamado intercambiador racional, debe ser utilizado.

La clave de administración es una de las tareas más importantes en la seguridad de las redes. Sin embargo, se vuelve mucho más complicada en las WMNs, porque no existe una autoridad central o un servidor para administrar las claves de seguridad. Los esquemas de auto-organización se proponen para distribuir y administrar las claves de seguridad. Cuando las claves públicas de dos usuarios necesitan ser verificadas, primero combinan los certificados locales y después encuentran el apropiado certificado combinado que pueda pasar esta verificación.

Para incrementar la seguridad de las WMNs, dos estrategias necesitan ser aplicadas. Acoplar el mecanismo de seguridad dentro de los protocolos de red tales como enrutamiento y protocolos MAC seguros y desarrollar seguridad en los sistemas para detectar ataques. Sin embargo, los ataques en una red pueden presentarse simultáneamente en las diferentes capas del modelo OSI.

4.4.6 Facilidad de Uso

Se deben diseñar protocolos y herramientas administrativas que permitan a la red ser lo más autónoma posible, para ofrecer una eficiente configuración en los parámetros de las WMNs.

4.5 Capacidad de las WMNs

La capacidad de la red depende de muchos factores tales como la topología de red, patrones de tráfico, cantidad de nodos en la red, número de canales usados por cada nodo, potencia de transmisión y movilidad de los nodos. Una comprensión clara de la relación entre la capacidad de la red y los factores antedichos proporciona una guía para desarrollar protocolos y diseño de arquitecturas.

4.5.1 Capacidad y Análisis

En la última década, se han realizado muchas investigaciones para estudiar la capacidad de las redes Ad-Hoc. Considerando las semejanzas existentes entre las WMNs y las redes Ad-Hoc, los resultados de estas investigaciones se pueden adoptar para estudiar la capacidad de las WMNs.

Uno de los factores fundamentales que determinan la capacidad de las redes Ad-Hoc, es que cada nodo debe comunicarse solamente con nodos vecinos. Para poner esta idea en ejecución, se sugiere lo siguiente:

- Aumentar la capacidad del rendimiento de procesamiento mediante nodos que retransmitan la información.
- Los nodos necesitan ser agrupados en pequeñas subredes

Sin embargo, si consideramos un sistema distribuido como una red Ad-Hoc o una WMN, crear pequeñas subredes y asignar nodos retransmisores son una tarea difícil.

Cabe considerar que un nodo fuente no podrá enviar su paquete hasta que el nodo destino no encuentre un nodo cercano que pueda enviarle la información. Por lo que, un nodo solamente se comunica con sus vecinos cercanos. Este esquema tiene una limitación: el retardo de transmisión es muy grande.

La alta o baja capacidad de las WMNs puede depender de dos consideraciones que no son necesariamente validas:

El tráfico en todos los nodos no es enviado a un Gateway en particular. Cada nodo recibe una parte equivalente del ancho de banda. Sin embargo, esta consideración no es valida para nodos de red que tengan distancias diferentes entre ellos.

4.6 Protocolos para Administrar la Red

Se requieren de varias funciones administrativas para mantener una apropiada operación de las WMNs.

4.6.1 Administración de Movilidad

La administración de la movilidad consiste de dos importantes tareas: administración de localización y administración de los handoffs. La administración de localización controla el registro de localización y entrega de datos, la administración de los handoffs es responsable del inicio del handoff, generar nuevas conexiones y controlar el flujo de datos para una transmisión de datos handoff.

Un esquema de administración de movilidad es requerido en las WMNs. Sin embargo, un esquema de distribución para una WMN puede ser más fácil que en una red Ad-Hoc, gracias a la existencia de los backbone en la red. Para ser más específicos, los backbones de las WMNs no hacen que los nodos de la red sean menos móviles, sino que las conexiones entre todos los enrutadores Mesh sean inalámbricas.

Los clientes Mesh pueden vagar constantemente a través de diferentes enrutadores Mesh. Como consecuencia, es necesario desarrollar nuevos esquemas en la administración de movilidad para las WMNs.

El servicio de la localización, es una característica deseada de las WMNs. Este servicio puede mejorar el desempeño de los protocolos de enrutamiento y puede ayudar en el desarrollo de aplicaciones. El proponer algoritmos exactos o eficientes para el servicio de la localización sigue siendo un asunto abierto de la investigación.

4.6.2 Administración de la Energía

La principal meta en la administración de energía en las WMNs varia con los nodos de la red. Generalmente, los enrutadores Mesh no requieren de gran consumo de energía; la administración de energía ayuda en el control de conectividad, interferencia, re-uso del espacio espectral y en las topologías de red. Por otro lado, los clientes Mesh intentan que sus protocolos tengan un uso eficiente de la energía. Es absolutamente posible que las WMNs requieran administrar su energía para optimizar la eficiencia y la conectividad, lo cual resulta en un problema complicado.

4.6.3 Supervisión de la Red

Varias funciones se realizan en los protocolos de administración de la red. Las estadísticas en la Información Básica de la Administración (MIB, de sus siglas en inglés: Management Information Base) de los nodos, especialmente enrutadores

Mesh, necesitan ser reportados a uno o varios servidores para supervisar continuamente el desempeño de la red.

La topología de la red de las WMNs no siempre es fija debido a la movilidad de los clientes Mesh o a posibles fallas en los enrutadores Mesh, por lo que la supervisión de la topología de la red es una característica deseada para las WMNs.

Algunos protocolos en la administración de la red se han propuesto para redes Ad-Hoc. Sin embargo, se necesita mejorar la eficiencia de estos esquemas para las WMNs de gran escalabilidad. Además, para detectar una operación anormal de las WMNs, se requieren algoritmos eficientes en el procesamiento de datos.

4.7 Conclusiones del Capítulo

La Tecnología Mesh se encuentra todavía en desarrollo, por lo que para su estudio fue caracterizada como si se tratara de la tecnología Ad-Hoc, por la semejanza en cuanto a carencia de infraestructura alámbrica en redes celulares o redes Wi-Fi.

Nuestro objetivo al utilizar la Tecnología de las WMNs, será extender el rango de cobertura de las redes inalámbricas actuales sin sacrificar la capacidad del canal, tener una baja inversión por adelantado y de esta manera hacer que la red crezca gradualmente conforme sea necesario. Gracias a estas cualidades, las WMNs ayudan a diversificar las capacidades de las redes Ad-Hoc, haciendo de éstas un subconjunto de las redes Mesh.

Por lo tanto, existen cualidades de las redes Ad-Hoc que son mejoradas cuando se implementa una red Mesh, dando como resultado la construcción de backbones inalámbricos que reducen enormemente los costos de infraestructura, proporcionando confiabilidad, baja inversión y escalabilidad. Los backbones inalámbricos nos proporcionan una amplia cobertura, conectividad y robustez al ruido e interferencias.

Para implementar nuestra WMN hay factores críticos que se deben considerar, estos son por ejemplo, las técnicas de radio usadas en las antenas de nuestros enrutadores para una gran capacidad y flexibilidad inalámbrica, en este documento mencionamos las antenas inteligentes MIMO como solución a esta consideración, necesitamos también, que nuestra red sea escalable, gracias a esto nuestra red irá creciendo en cuanto a nueva tecnología se refiere, siendo actualizando su software cada vez que se requiera para estar siempre a la vanguardia y generando un buen desempeño en nuestra red. Tener una buena compatibilidad e interoperabilidad para mantener comunicación con tecnologías similares y redes alámbricas, ofrecer a los usuarios ancho de banda considerable para sus servicios y una calidad de Servicio Alta. Las WMNs necesitan ser compatibles con los clientes de nodos convencionales. Esto exige que los enrutadores Mesh sean capaces de integrar redes inalámbricas heterogéneas, proveer un servicio confiable, para esto se debe considerar que los sistemas de seguridad aplicados en redes Ad-Hoc no son del todo compatibles al usarse en WMN's, pero que debido a que nuestra red estará orientada para fines sin lucro, la seguridad en nuestra red no sería un factor crítico.

La capacidad de nuestra red, dependerá de la cantidad de nodos y los canales usados por cada nodo, la potencia de transmisión y de que tanta movilidad se presente en estos.

Para una buena administración de movilidad y para mantener una apropiada operación de las WMNs, se deben llevar a cabo dos tareas importantes: administración de localización y administración de los handoffs. Los clientes Mesh

pueden vagar constantemente a través de diferentes enrutadores Mesh. Como consecuencia, es necesario desarrollar nuevos esquemas en la administración de movilidad para las WMNs.

Otro factor importante es la administración de energía, dicha administración varía con los nodos de la red, pero generalmente los enrutadores Mesh no requieren de un gran consumo de energía y no se tiene un límite estricto. Sin embargo, los clientes Mesh pueden requerir de protocolos que optimicen el consumo de energía.

Finalmente, sin una solución de seguridad convincente, las WMNs no podrán tener el éxito esperado debido a la carencia de incentivos hacia los usuarios para contratar servicios confiables. Aunque se han propuesto muchos esquemas de seguridad para redes LAN inalámbricas en los años recientes, estos aun no son completamente aplicables para las WMNs. Por ejemplo, no existe una autoridad confiable que pueda proveer una llave pública en una WMN, debido a la arquitectura distribuida del sistema. La seguridad existente en los sistemas de seguridad propuestas para redes Ad-Hoc puede ser adoptada por las WMNs. Sin embargo, la mayoría de las soluciones de seguridad para redes Ad-Hoc no han madurado lo suficiente para ser implementadas de forma práctica en las WMNs.

CAPÍTULO 5

PROTOCOLO DE ENRUTAMIENTO AODV

5.1 Enrutamiento en Redes

Los enrutadores utilizan los protocolos de enrutamiento para intercambiar las tablas de enrutamiento y compartir la información de enrutamiento, y sus funciones son las de ofrecer procesos para compartir la información de ruta y permitir que los enrutadores se comuniquen con otros enrutadores para actualizar y mantener las tablas de enrutamiento.

5.1.1 Sistema Autónomo

Un sistema autónomo es una red o conjunto de redes bajo un control común de administración, dicho sistema está compuesto por enrutadores que presentan una visión coherente del enrutamiento al mundo exterior.

Los protocolos de enrutamiento pueden clasificarse en IGP (de sus siglas en inglés: Internal Gateway Protocol) o EGP (de sus siglas en inglés: External Gateway Protocol), lo que describe si un grupo de enrutadores se encuentra bajo una sola administración o no. Los IGP enrutan datos dentro de un sistema autónomo y a su vez pueden clasificarse en protocolos de vector-distancia o de estado de enlace

5.1.2 Protocolo de Vector de Distancia

Llamado así porque aprende de enrutadores vecinos "ruteo por rumor", por que cada enrutador aprende de la red de sus respectivos vecinos, esta información se almacena en una tabla de enrutamiento, en la cual se identifican las redes o host destino y las distancias a ellas. Esta distancia se le denomina "métrica" y se mide en saltos, Ancho de banda, Retardo, Carga, Confiabilidad, y Costo. La tabla de enrutamiento se actualiza periódicamente cada 30 segundos de información proveniente de enrutadores conectados directamente y la obtiene aplicando los siguientes criterios:

- Ruta más corta hacia un destino
- Agregado de un nuevo destino
- Actualización de distancia pasando por otros puntos

Comparado con el protocolo estado de enlace, el vector de distancia es más eficiente en términos computacionales, más fácil de implementar y requiere mucho menos espacio de almacenamiento. Sin embargo se sabe muy bien que vector de distancia puede causar la formación de ciclos. El algoritmo de enrutamiento por vector de distancia recibe otros nombres, incluido el de algoritmo de enrutamiento Bellman-Ford distribuido y el de algoritmo Ford-Fulkerson.

Algunos ejemplos de este protocolo son:

- Protocolo de información de enrutamiento (RIP, de sus siglas en inglés: Routing Information Protocol), que es el IGP más común de la red. RIP utiliza números de saltos como su única métrica de enrutamiento.

- El Protocolo de enrutamiento de Gateway interior (IGRP, de sus siglas en inglés: Interior Gateway Routing Protocol), es un IGP desarrollado por Cisco para resolver problemas relacionados con el enrutamiento en redes extensas y heterogéneas.
- IGRP mejorado (EIGRP, de sus siglas en inglés: Enhanced Interior Gateway Routing Protocol), este IGP propiedad de Cisco incluye varias de las características de un protocolo de enrutamiento de estado de enlace. Es por eso que se ha conocido como protocolo híbrido balanceado, pero en realidad es un protocolo de enrutamiento vector-distancia avanzado.

5.1.3 Protocolos de Estado de Enlace

Los protocolos de enrutamiento de estado de enlace se diseñaron para superar las limitaciones de los protocolos de enrutamiento vector distancia. Los protocolos de enrutamiento de estado de enlace responden rápidamente a las modificaciones en la red, enviando actualizaciones sólo cuando se producen las modificaciones, triggered updates. También envían actualizaciones periódicas, conocidas como renovaciones de estado de enlace a rangos más prolongados; por ejemplo, 30 minutos.

Cuando una ruta o enlace se modifica, el dispositivo que detectó el cambio crea una publicación de estado de enlace LSA (de sus siglas en inglés: Link State Advertisement) con relación a ese enlace. Luego la LSA se transmite a todos los dispositivos vecinos. Cada dispositivo de enrutamiento hace una copia de la LSA, actualiza su base de datos de estado de enlace y envía la LSA a todos los dispositivos vecinos. Se necesita esta inundación de LSA's para estar seguros de que todos los dispositivos de enrutamiento creen bases de datos que reflejen de forma precisa la topología de la red antes de actualizar sus tablas de enrutamiento.

Algunos ejemplos de este protocolo son: Primero la Ruta Libre Más Corta (OSPF, de sus siglas en inglés: Open Shortest Path First) y el Sistema Intermedio a Sistema Intermedio (IS-IS).

5.2 Protocolos de Enrutamiento en Redes Mesh

El protocolo de enrutamiento tiene dos funciones principales, selección de rutas para varios pares de nodos origen-destino y la entrega de mensajes en sus destinos correctos.

A continuación se enlistan algunas propiedades deseables en los protocolos para redes Mesh:

- Operación distribuida
- Libre de ciclos
- Operación basada en demanda
- Soporte para conexiones unidireccionales
- Seguridad
- Conservación de energía
- Rutas múltiples
- Soporte para Calidad de Servicio (QoS, de sus siglas en inglés: Quality of Service)

Ninguno de los protocolos propuestos hasta el momento cuenta con todas estas propiedades, pero es necesario recordar que los protocolos para las WMNs aún

están en desarrollo. La función primordial es aún encontrar una ruta al destino, no encontrar la mejor y óptima ruta o el camino más corto.

Los algoritmos de enrutamiento usados en las WMNs se pueden clasificar en dos grupos: los que se basan en tablas de enrutamiento, tratan de mantener la información necesaria para que el enrutamiento sea continuamente actualizado, y los que se apoyan de enrutamiento bajo demanda, donde las rutas son creadas sólo cuando se requieren.

Existen más de 70 esquemas competentes para el enrutamiento de paquetes a través de una WMN, entre los cuales destacan:

- DSR, de sus siglas en inglés: Dynamic Source Routing
- OLSR, de sus siglas en inglés: Optimized Link State Routing protocol
- TORA, de sus siglas en inglés: Temporally Ordered Routing Algorithm
- AODV, de sus siglas en inglés: Ad-hoc On Demand Distance Vector

5.2.1 AODV

Este es el protocolo que va a estar dentro del ámbito de la tesis y al que vamos a dedicar la mayor parte del presente documento.

5.2.2 DSR

El protocolo DSR se compone de dos rutinas básicas: descubrimiento de rutas y mantenimiento de rutas. Cuando un nodo requiere una ruta a un destino, genera una ruta conteniendo todos los nodos que deben ser visitados hasta llegar al destino. Esta ruta creada es almacenada entonces en la cabecera de cada uno de los paquetes que necesiten ser transmitidos al nodo destino. Entonces, el nodo origen envía el paquete al primer nodo en la ruta. Si este nodo no es el nodo destino simplemente retransmite el paquete al siguiente nodo especificado en la ruta. Cuando el paquete llega a su destino el paquete es entregado al software de la capa de red de ese nodo.

Cada nodo mantiene una memoria caché donde almacena todas las rutas que ha aprendido. Cuando un nodo envía un mensaje a otro, primero checa si en su memoria tiene ya una ruta al nodo deseado. Si la ruta ya existe, utiliza esa ruta. Si la ruta no existe entonces el nodo intenta descubrir una ruta ejecutando su rutina de descubrimiento de rutas. Mientras espera por una ruta, puede continuar con sus tareas ya programadas y puede seguir intercambiando paquetes con otros nodos.

Mientras un nodo utiliza una ruta, se mantiene monitoreando que funcione correctamente. Por ejemplo, si uno de los nodos pertenecientes a una ruta en específico se sale del rango de transmisión del nodo inmediato anterior o posterior en la ruta, entonces esa ruta ya no es válida y los paquetes enviados por ella no logran llegar a su destino. Una ruta también puede fallar si uno de los nodos en ella falla o se apaga por razones de energía. A este monitoreo de las rutas se le refiere como mantenimiento de rutas. Cuando la rutina de mantenimiento de rutas detecta un problema con alguna ruta en uso, se utiliza la rutina de descubrimiento de rutas para descubrir una nueva ruta al nodo destino.

5.2.3 OLSR

El protocolo OLSR es utilizado en redes Ad-Hoc, pero se puede aplicar en las WMNs. OLSR incorpora la filosofía utilizada en protocolos tradicionales como OSPF de "Estado de los Enlaces".

En este protocolo todos los nodos se intercambian mensajes para formarse una visión consistente de toda la red y así poder decidir el encaminamiento de paquetes. La ventaja de este protocolo es que las conexiones son hechas rápidamente. Por otra parte, su desventaja principal se debe a la necesidad de intercambiar un gran número de mensajes periódicos para descubrir nuevos miembros en la red. Sin embargo se ha conseguido una gran optimización en la retransmisión de estos mensajes con la incorporación de la Técnica de Retransmisión Multipunto, a través de la cual, los mensajes sólo son retransmitidos por el mínimo número de nodos necesarios para alcanzar a todos los demás. Estos nodos son conocidos como Grupo de Retransmisores Multipunto, MPR's.

5.2.4 TORA

El protocolo TORA está diseñado para minimizar la reacción a cambios en la topología de la red. El funcionamiento del TORA es de la siguiente manera. Cada vez que se requiera una ruta a un nodo destino se ejecuta una versión lógica separada del protocolo. El protocolo puede separarse en tres funciones básicas: creación de rutas, manutención de rutas y borrado de rutas.

El protocolo logra estas tres funciones mediante el uso de tres paquetes de control distintos: de solicitud (QRY), de actualización (UPD), y de limpieza (CLR). Los paquetes QRY son usados para crear rutas, los paquetes UPD son usados tanto para crear rutas como para mantenerlas y los paquetes CLR son utilizados para borrar rutas.

TORA asocia una altura a cada nodo en la red. Todos los mensajes fluyen de nodos con mayor altura hacia nodos con menor altura. Cuando un nodo no tiene algún vecino con una altura menor a la de él mismo, entonces envía un mensaje QRY a toda la red. Este mensaje QRY se propaga por toda la red hasta encontrar un nodo que tenga una ruta al destino deseado o bien, hasta que el paquete llegue al destino. Entonces ese nodo genera un paquete UPD que contiene la altura del nodo. El paquete UPD es enviado a todos los nodos de la red y conforme los nodos vayan recibiendo este paquete, deben de ir actualizando sus propias alturas con valores mayores que el especificado en el mensaje UPD. A su vez cada nodo que recibe un paquete UPD envía su propio mensaje UPD a los demás nodos de la red. Con esta serie de acciones se obtiene un número de ligas dirigidas que van desde el nodo que originó el paquete QRY hasta el nodo destino.

5.3 Algoritmos Usados en Redes Ad-Hoc

Los algoritmos de enrutamiento usados en las redes Ad-Hoc se pueden clasificar en dos grupos:

- Basados en tablas de enrutamiento
- Basados en enrutamiento bajo demanda

5.3.1 Basados en Tablas de Enrutamiento

Estos algoritmos tratan de mantener la información necesaria para el enrutamiento continuamente actualizada. Cada nodo mantiene una o más tablas con los datos para encaminar hacia cualquier otro nodo de la red. Los cambios en la topología de la red propician el envío masivo de paquetes para mantener las tablas actualizadas. Los siguientes algoritmos se encuadran dentro de esta categoría: DSDV (por sus siglas en inglés: The Destination-Sequenced Distance-Vector Routing Protocol), CGSR (por sus siglas en inglés: Clusterhead Gateway Switch Routing) y WRP (por sus siglas en inglés: The Wireless Routing Protocol). Los protocolos anteriores difieren en el número de tablas utilizadas y en la política de envío de paquetes para mantener las tablas actualizadas.

5.3.2 Basados en Enrutamiento Bajo Demanda

En contraste con los algoritmos basados en tablas, las rutas son creadas sólo cuando se requieren. Cuando un nodo requiere una ruta hacia un destino concreto se inicia un proceso de descubrimiento de ruta. Este proceso termina cuando se encuentra un camino hacia el destino o cuando se examinan todas las alternativas y ninguna lleva al destino final. Cuando la ruta es descubierta, es necesario mantenerla, mantenimiento de ruta, hasta que el destino se vuelva inalcanzable o la ruta deje de ser necesaria. Algunos ejemplos de este tipo de protocolos son: AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing), DSR (Dynamic Source Routing), LMR (Lightweight Mobile Routing), TORA (Temporary Ordered Routing Algorithm), ABR (Associative-Based Routing) y SSR (Signal Stability Routing).

5.4 Protocolo AODV

Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV), es un protocolo de enrutamiento a demanda de vector distancia, diseñado para redes móviles autoconfigurables. Está descrito en la RFC 3561.

Permite el enrutamiento dinámico, autoconfigurable y multisalto entre nodos, está en proceso de ser estandarizado y por el momento es un RFC experimental de la IETF.

Está siendo desarrollado en la Universidad de California, Santa Barbara con la colaboración de Intel.

Locustworld es una empresa Británica con las primeras implementaciones de Mesh en software libre, empleando AODV.

El protocolo AODV, variación de protocolos de enrutamiento WRP y DSDV, es un algoritmo para enrutar datos a través de las WMNs. Los autores del protocolo AODV lo clasifican como un sistema de adquisición de rutas por demanda puro, debido a que los nodos que no están en una ruta seleccionada no mantienen información de rutas ni participan en ningún intercambio de tablas de rutas.

Una de las características que define a AODV es el uso de tablas de enrutamiento en cada nodo para evitar transportar rutas en los paquetes. Cada destino de la tabla de enrutamiento lleva asociado un número de secuencia y un temporizador, life-time. Este número permite distinguir entre información nueva e información antigua, de tal manera que se evita la formación de lazos y la transmisión de rutas caducadas. La función del temporizador es evitar usar enlaces de los que no se conoce su estado desde hace mucho tiempo.

AODV no mantiene rutas para cada nodo de la red. Estas rutas son descubiertas según se vayan necesitando bien sea que se activen o desactiven nodos en la red. AODV es capaz de proveer transmisión unicast, multicast y broadcast. La transmisión unicast consiste en enviar datos de un nodo a otro, la transmisión multicast consiste en enviar información de un nodo a un grupo de nodos y la transmisión broadcast consiste en enviar datos de un nodo a los demás nodos de la red.

Los descubrimientos de rutas son siempre bajo demanda y siguen un ciclo de petición/respuesta de ruta. Las peticiones son enviadas usando un paquete especial denominado RREQ, Route Request. A su vez, las respuestas son enviadas en un paquete denominado RREP, Route Reply.

La ventaja de AODV es que no crea tráfico adicional en las comunicaciones entre nodos. Además, este protocolo es simple y no requiere de mucha capacidad en la memoria. Sin embargo, requiere más tiempo para establecer una conexión y la comunicación inicial para establecer una ruta es más compleja a comparación de otros protocolos.

Actualmente, se está desarrollando una mejora del protocolo AODV, denominada AODV-ST (de sus siglas en inglés: AODV- Spanning Tree), el cual es un protocolo diseñado para las WMNs que a diferencia de AODV, permite mayor transferencia de datos a través de las métricas de enrutamiento, menor tiempo para descubrir rutas y proporciona técnicas eficientes para el mantenimiento de rutas.

5.4.1 Descubrimiento de Rutas

Antes de descubrir las rutas, los nodos deben estar debidamente configurados, bajo la modalidad requerida.

A continuación se resume la secuencia de pasos para descubrir una ruta:

- 1) Cuando un nodo desea conocer una ruta hacia un nodo destino, envía por Broadcast un RREQ.
- 2) Cualquier nodo que conozca una ruta hacia el destino solicitado (incluido el propio destino) puede contestar enviando un RREP.
- 3) Esta información viaja de vuelta hasta el nodo que originó el RREQ y sirve para actualizar las rutas de los nodos que lo necesiten.
- 4) La información recibida por el nodo destino del RREP se almacena en su tabla de enrutamiento.
- 5) Ahora, el nodo origen ya podría enrutar su paquete de datos, pues ya conoce un camino hacia su destino.

Por ejemplo, observando la figura 5.1 supongamos que el nodo S quiere descubrir una ruta hacia el nodo D:

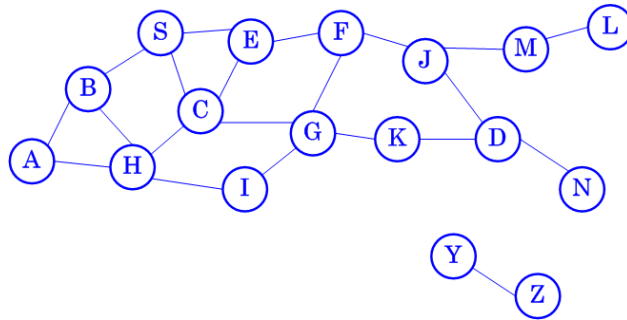


Figura 5.1 Descubrimiento de ruta de nodo S a nodo D

Para iniciar un descubrimiento de ruta el nodo S transmite un RREQ enviando un único paquete en modo Broadcast, el cual es recibido por todos los nodos que están en su rango de transmisión (en nuestro ejemplo, incluiría los nodos B, C y E).

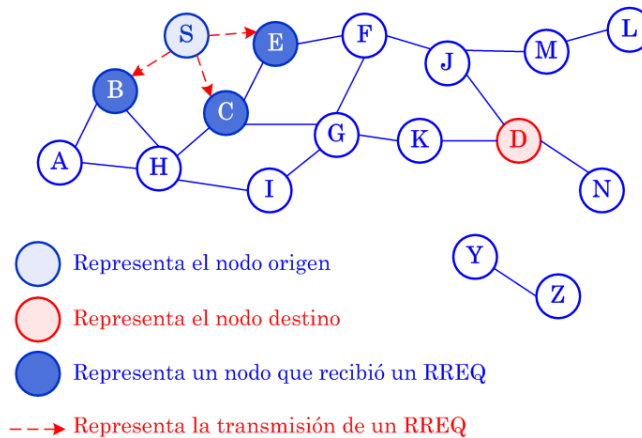


Figura 5.2 Transmisión de RREQ hacia nodos vecinos

Nota: Cada Route Request incluye el origen y el destino del descubrimiento de ruta, además del identificador único, otorgado por el iniciador de la petición, para que los nodos intermedios puedan actualizar sus tablas con esta información. Por último también se añade un campo con información del número de saltos que da el paquete.

- Cuando otro nodo reciba esta petición, si él fuera el destinatario del descubrimiento de ruta, devolvería al origen un RREP. Cuando el origen recibiera esta Route Reply, almacenaría en su cache este camino para los futuros envíos al mismo destino. En nuestro ejemplo, los nodos B, C y E que reciben el Route Request, comprueban que no les ha llegado con anterioridad otra petición con el mismo origen y mismo identificador. Después de esto, verifican que no sean los destinatarios del RREQ y que tampoco disponen de una ruta hacia el nodo D. A continuación, reenvían por broadcast la petición incrementando en una unidad el número de saltos. Como también viaja la información del nodo que originó la petición, podría añadir una ruta en su tabla para llegar hacia dicho nodo.

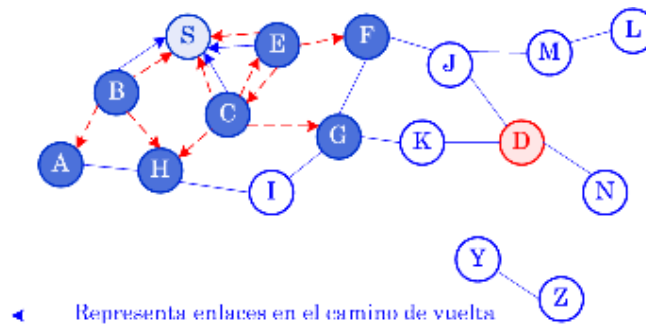


Figura 5.3 Flooding del Mensaje RREQ

- El nodo C recibe un RREQ desde G y H, pero no lo reenvía porque ya envió ese RREQ anteriormente.

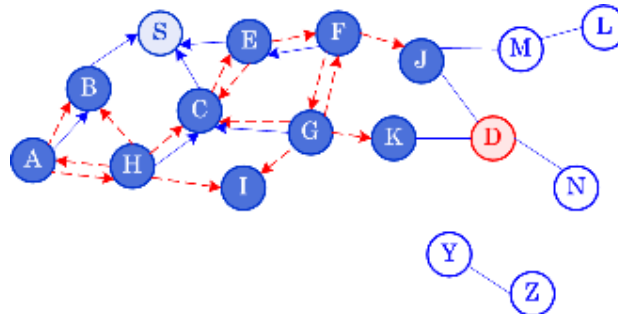


Figura 5.4 No reenvío del Mensaje RREQ

- La petición llega al nodo D que es el destino.

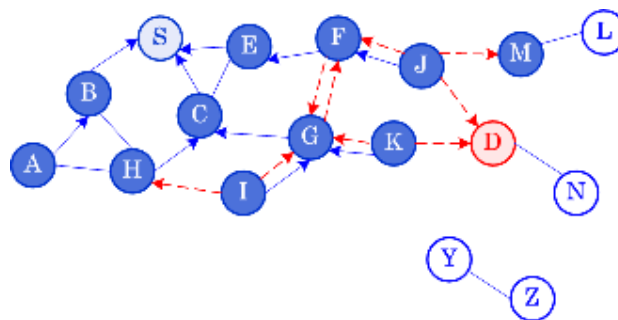


Figura 5.5 Llegada de la petición a RREQ a nodo D

- El nodo D no reenvía el RREQ, porque el es el destino esperado de dicho RREQ.

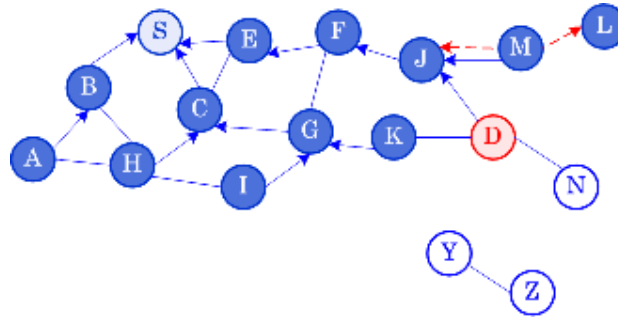


Figura 5.6 El nodo D no reenvía el RREQ

- El nodo D, mandará el Route Reply correspondiente al nodo S con la ruta obtenida por Route Request.

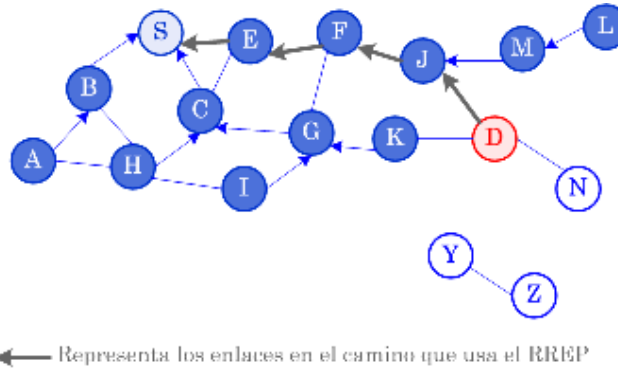


Figura 5.7 El nodo D manda un RREP

- El paquete de datos se enviará según la configuración de la tabla de enrutamiento. Para enviar este paquete al nodo S, mirará en su caché para obtener algún camino o iniciará otro Route Discovery si fuera necesario.

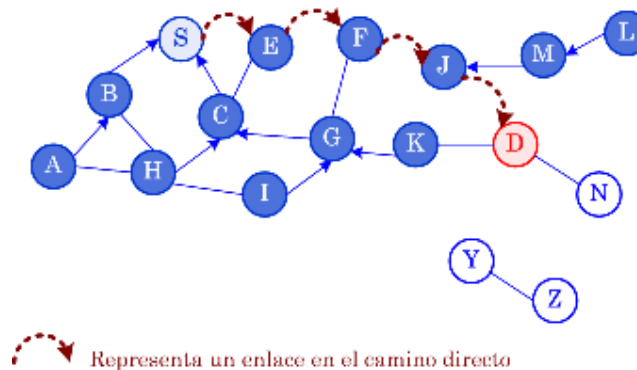


Figura 5.8 Se crea la ruta del nodo S al nodo D

De esta forma, AODV es un protocolo que tiene que ver con el manejo de una tabla de enrutamiento. La información de esta tabla, debe de mantenerse incluso para el

caso de rutas con tiempo de vida corto, las cuales se crean de manera temporal para almacenar caminos inversos hacia los nodos que originaron los RREQs. Este protocolo utiliza los siguientes campos con cada información de ruta:

- Dirección IP destino
- Número de secuencia de destino
- Bandera de número de secuencia válido
- Otras banderas de estado y ruteo
- Interfaz de red
- Conteo de saltos (número de saltos necesarios para alcanzar al destino)
- Siguiendo salto
- Lista de precursores
- Tiempo de vida (tiempo de expiración o de borrado de la ruta)

La administración del número de secuencia es crucial para evitar ciclos de enrutamiento, incluso cuando los enlaces se rompen y un nodo ya no es alcanzable para proporcionar su propia información acerca de su propio número de secuencia. Cuando ocurre esta situación, la ruta se invalida mediante operaciones que tienen que ver con el número de secuencia para marcar el estado de la información de ruta como inválido.

5.4.2 Mantenimiento de Rutas

Cuando se establece una ruta entre dos nodos, la ruta se considera válida durante un periodo de tiempo. Esto es debido a que los nodos son móviles y un camino que antes era óptimo, pasado un tiempo puede que ni siquiera sea válido porque es posible que el nodo no sea visible por obstrucciones o desvanecimiento de las ondas. Para defenderse de estas situaciones, AODV utiliza el mantenimiento de rutas. Si el nodo origen de un envío se mueve (y altera la topología de la red), él debe reiniciar un nuevo descubrimiento de ruta hacia el destino. Sin embargo, si ha sido el nodo destino de los datos el que se ha movido o algún nodo intermedio, y hay algún mensaje dirigido hacia él, un mensaje especial de error en ruta (RERR) será enviado al nodo que originó el envío, por el nodo que advierte el cambio en la topología de la red. Es importante resaltar que no todos los cambios de los nodos ocasionan operaciones en el protocolo, recordemos que AODV enruta bajo demanda. Todos los nodos por los que atravesase este paquete (RERR), cancelarán las rutas que pasaran por el nodo que se ha vuelto inaccesible. En el momento que el RERR llegue a su destino, éste puede decidir dar por terminado el envío o iniciar un nuevo RREQ si aún necesitase establecer la comunicación. Es preciso mantener información actualizada de quiénes son los vecinos de cada nodo cada cierto tiempo. Cada vez que un nodo recibe un paquete de algún vecino, la entrada para ese vecino en la tabla de rutas se renueva, pues se sabe con seguridad que sigue en su lugar. Si no hubiera entrada todavía para el vecino, se crearía una nueva en la tabla de enrutamiento. Además, cada cierto intervalo de tiempo, se mandan paquetes HELLO a los vecinos para informarles que el propio nodo sigue activo. Esta información es usada por los vecinos para actualizar los temporizadores asociados a dicho nodo o en su defecto, para deshabilitar las entradas que se encaminen por el nodo que no responde.

5.5 Conclusiones del Capítulo

El protocolo AODV es un algoritmo para enrutar datos usado en redes Ad-Hoc y es un protocolo basado en la adquisición de rutas por demanda. El uso de tablas de enrutamiento por nodo evita llevar rutas en los paquetes, el protocolo AODV es inmune a la creación de lazos y evita usar enlaces de los que no se conoce su estado debido a que en cada tabla de enrutamiento hacia el nodo destino lleva asociado un número de secuencia y un temporizador. Además de que AODV no mantiene rutas para cada nodo de la red, esto es, AODV no hace nada hasta que un nodo necesita transmitir un paquete a otro nodo para el cual no tiene ruta. AODV sólo mantiene rutas entre nodos que necesitan comunicarse. Sus mensajes no contienen información de toda la ruta, solo contienen información sobre el origen y el destino. Por lo tanto los mensajes de AODV tienen tamaño constante independientemente del número de nodos de la ruta.

Debido a que la movilidad es un aspecto muy importante en nuestra aplicación, este protocolo provee del mantenimiento de rutas, es decir considerar rutas válidas durante un periodo de tiempo y después desecharlas, creando rutas cada vez que se necesiten y funciona de la siguiente manera, un nodo realiza un descubrimiento de ruta haciendo un 'flooding' de la red con un mensaje llamado 'Route Request' (RREQ). Una vez que llega a un nodo que conoce la ruta pedida responde con un 'Route Reply' (RREP) que viaja de vuelta al que origina el RREQ. Después de esto, todos los nodos de la ruta descubierta conocen las rutas hacia los dos extremos de la ruta.

6.1 Arquitectura de Red y Factores de Diseño Críticos

Las WMNs han emergido como una tecnología dominante para el establecimiento de una nueva generación en redes inalámbricas, a diferencia de otras redes inalámbricas, las WMNs progresan rápidamente y son fuente de inspiración para muchas aplicaciones. Sin embargo, aún es necesario establecer fundamentos básicos en este campo, para tener un mejor entendimiento sobre los desafíos presentes en las investigaciones de las WMNs.

Un enrutador Mesh inalámbrico contiene funciones adicionales de enrutamiento para el buen desempeño de las redes Mesh. Para mejorar la flexibilidad de una red Mesh, un enrutador Mesh está generalmente equipado con múltiples interfaces inalámbricas construidas sobre similares o diferentes tecnologías de acceso inalámbrico. Comparado con un enrutador inalámbrico convencional, un enrutador inalámbrico Mesh puede obtener la misma cobertura de alcance con una potencia de transmisión mínima mediante comunicaciones multi-hop. Ocasionalmente, el protocolo de control de acceso al medio, MAC, en un enrutador Mesh presenta mejor escalabilidad en un ambiente multi-hop. A pesar de todas estas diferencias, los enrutadores Mesh inalámbricos y los enrutadores convencionales inalámbricos están usualmente construidos sobre una plataforma de hardware similar. Los enrutadores Mesh pueden estar construidos sobre sistemas de cómputo dedicados, por ejemplo, sistemas acoplados. La figura 6.1 muestra los dos tipos de nodos existentes en una WMN, clientes Mesh y enrutadores Mesh.

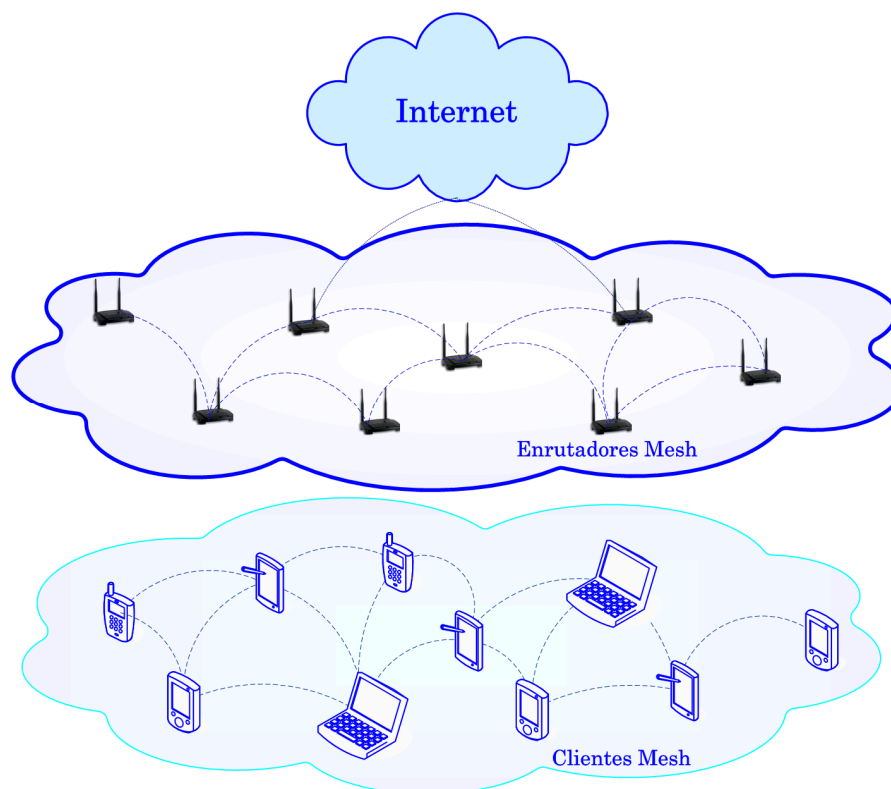


Figura 6.1. Enrutadores y Clientes Mesh

Los clientes Mesh usualmente tienen interfaces únicamente inalámbricas. Como consecuencia, la plataforma de hardware y el software para los clientes Mesh pueden ser mucho más simples que en los enrutadores Mesh. Los clientes Mesh tienen una gran variedad de dispositivos en comparación con los enrutadores Mesh, puesto que estos pueden ser: laptops, PDAs, teléfonos IP y muchos otros dispositivos más.

Algunos de los nodos Mesh sirven como gateways entre la WMN y la Red Cableada. Todos los recursos de infraestructura tales como servidores de archivos, gateways, así como servidores de aplicaciones, residen en la red alámbrica y pueden ser accedidos a través de cualquier gateway.

6.2 Clasificación de la Arquitectura de las WMNs

La arquitectura de las WMNs puede ser clasificada en tres tipos:

6.2.1 Infraestructura/Backbone

En esta arquitectura, los enrutadores Mesh forman una infraestructura para los usuarios, como se muestra en la figura 6.2, donde las líneas continuas y discontinuas indican las conexiones alámbricas e inalámbricas, respectivamente. La Infraestructura/Backbone de una WMN puede estar construida usando varios tipos de tecnologías de radio, los más usados son los que pertenecen a las tecnologías de la IEEE 802.11. Los enrutadores Mesh forman una red auto configurable con las características de funcionamiento de los gateways, los enrutadores Mesh pueden estar conectados a Internet. Los clientes convencionales conectados mediante una interfase Ethernet, pueden estar conectados a los enrutadores Mesh por medio de conexiones Ethernet. Para usuarios convencionales con la tecnología de radio similar como enrutadores Mesh, se pueden comunicar directamente con los enrutadores Mesh. En el caso en que los clientes utilicen tecnologías de radio diferentes, se deben de comunicar con su estación base, la cual, tiene que estar conectada vía Ethernet a los enrutadores Mesh.

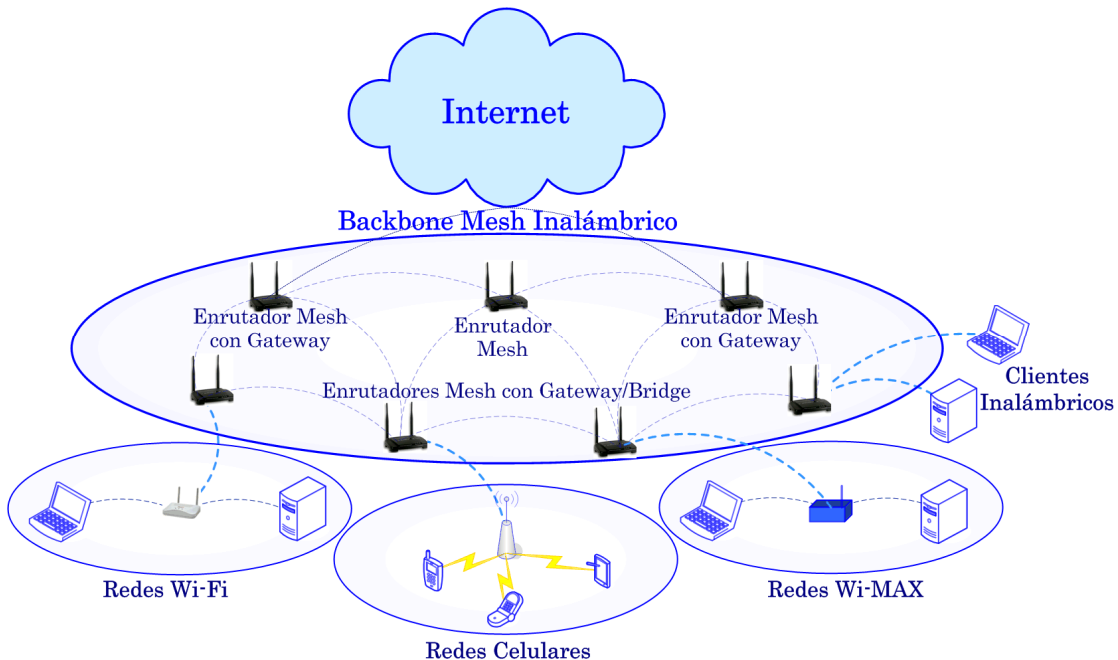


Figura 6.2. Infraestructura/Backbone de las WMNs

6.2.2 Clientes Mesh

Los clientes Mesh proveen redes punto a punto entre dispositivos de cliente. En este tipo de arquitectura, los nodos cliente constituyen la red real para realizar enrutamiento y funciones de configuración para proporcionar aplicaciones a los usuarios finales. Por lo tanto, no son necesarios los enrutadores Mesh para este tipo de redes. Los clientes Mesh generalmente usan radios similares sobre sus dispositivos. Es decir, un cliente Mesh es actualmente lo mismo que una red Ad-Hoc convencional. Sin embargo, los requisitos en los dispositivos del usuario final incrementan cuando son comparados a la infraestructura Mesh, puesto que en los clientes Mesh los usuarios finales deben realizar funciones adicionales tales como enrutamiento y auto configuración.

6.2.3 Híbrida

Esta arquitectura es la combinación entre infraestructura y cliente Mesh, como se muestra en la figura 6.3. Los clientes Mesh pueden acceder a la red a través de enrutadores Mesh. Mientras que la infraestructura provee la conectividad hacia otras redes como la Internet, redes Wi-Fi, redes WiMAX, redes celulares, entre otras. Las capacidades de enrutamiento de clientes proporcionan conectividad y cobertura mejoradas dentro de las WMNs.

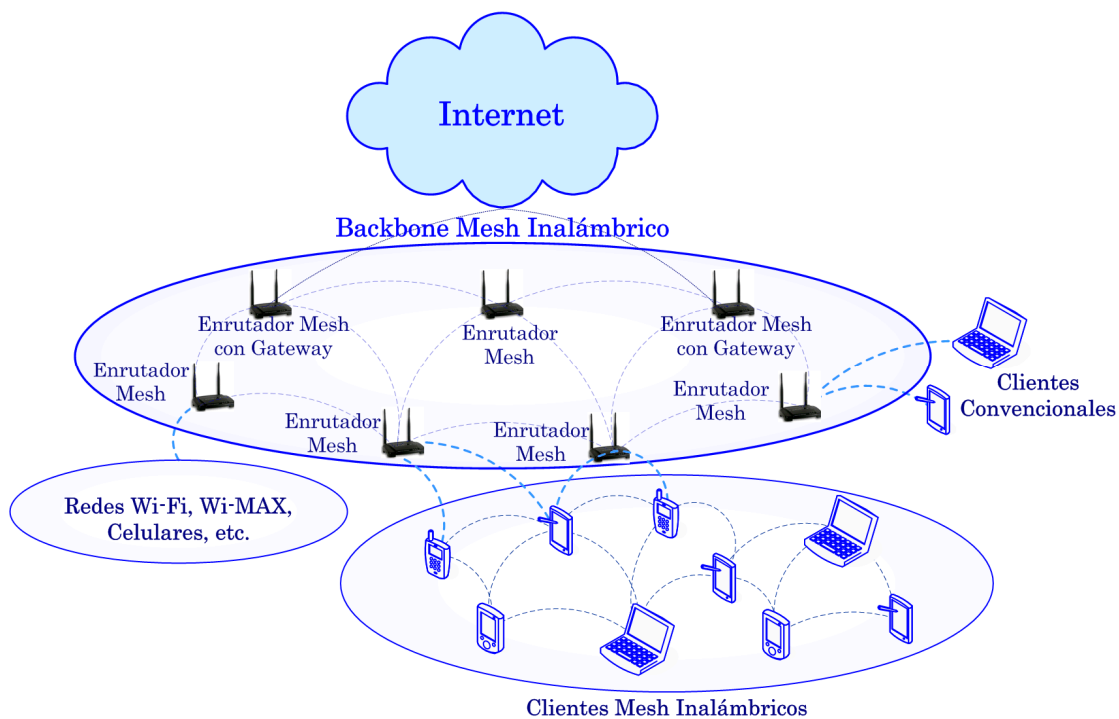


Figura 6.3. WMNs híbridas

6.2.4 Las Características de las WMNs Considerando la Arquitectura Híbrida.

- Las WMNs tienen su soporte en redes AD-Hoc, y tienen la capacidad de auto-configurarse y auto-organizarse.
- Las WMNs son redes inalámbricas multi-hop, pero con una Infraestructura/Backbone proporcionada por los enrutadores Mesh.
- Los enrutadores Mesh presentan mínima movilidad y realizan enrutamiento y configuración dedicados, lo cual disminuye perceptiblemente la carga de los clientes Mesh y de algunos otros nodos finales.
- La movilidad de los nodos finales se apoya fácilmente de una infraestructura inalámbrica.
- Los enrutadores Mesh integran redes heterogéneas alámbricas e inalámbricas, por lo que existen diferentes tipos de redes en la WMNs.
- La potencia de transmisión es diferente entre los enrutadores Mesh y los clientes Mesh.
- Las WMNs son compatibles e interoperables con otras redes inalámbricas.

Por lo tanto, las WMNs diversifican las capacidades de las redes Ad-Hoc en vez de ser otro tipo de red Ad-Hoc. Estas capacidades adicionales requieren de nuevos algoritmos y principales diseños para la implementación de las WMNs.

6.3 Problema de Asignación de Canal

El objetivo de asignación de canal en una WMN es unir cada interfase de red a un canal de radio, en el cual, el ancho de banda en cada enlace virtual es proporcional a la carga que necesita llevar.

Los nodos de una WMN necesitan compartir un canal común, con cada uno de los rangos de comunicación del nodo vecino con el que desea establecer comunicación. Por otro lado, para reducir la interferencia un nodo, se debe disminuir el número de vecinos con los cuales comparte el canal común. En otras palabras, se tiene que romper cada domino de colisión en tantas partes como sea posible mientras se mantiene la conectividad requerida entre los nodos vecinos.

Para asignar el canal se tiene que:

- Asignar un canal de radio a una interfase.
- Determinar que interfase utilizará el nodo Mesh para comunicarse con un nodo vecino, debido a que el número de interfaces por nodo es limitado, cada nodo usa típicamente una interfase para comunicarse con el resto de sus vecinos.

6.3.1. Los Principales Puntos que Debe Cumplir un Algoritmo para Asignar el Canal

- El número de canales distintos que pueden ser asignados a un nodo de la WMN está limitado por el número de NICs que tiene.
- Dos nodos que se comunican directamente deben compartir al menos un canal común.
- La capacidad natural de un canal de radio dentro de una interfase está limitada.

Por otro lado, los enlaces que necesitan soportar una carga de tráfico mayor, se les debería asignar más ancho de banda, por lo que los enlaces deberían usar un canal de radio que sea compartido entre un número de nodos pequeño.

6.4 Escenarios de Aplicación

A continuación se describen algunas aplicaciones de las WMNs:

6.4.1 Redes Locales de Banda Ancha

Las redes Mesh son indispensables para resolver la ubicación de problemas en los APs dentro de las redes Locales. Los APs deben ser reemplazados por enrutadores Mesh inalámbricos con conectividad Mesh establecida entre ellos. Por esta razón, la comunicación entre estos nodos se vuelve más flexible y robusta para fallas de red y enlaces.

6.4.2 Construcción Automatizada

Los APs son reemplazados por WMNs, por lo que los costos de desarrollo se reducen significativamente. El proceso de desarrollo es mucho más simple, debido a la conectividad Mesh entre los enrutadores inalámbricos.

6.4.3 Redes Empresariales

En las WMNs, podemos compartir varios backhuls para todos los nodos en la red, de esta manera las redes empresariales mejoran su robustez y optimizan los recursos en dichas redes.

6.4.4 Redes MAN

En comparación con las redes Celulares, las redes MAN Mesh inalámbricas soportan mayores tasas de transmisión y la comunicación entre los nodos no depende de un backbone alámbrico. Por otra parte, comparando a las redes cableadas con las redes MAN Mesh inalámbricas, estas son una alternativa económica para redes de banda ancha, especialmente en regiones rurales.

6.5 Las Capas del Modelo de Referencia OSI para WMN.

Las WMN básicamente se diferencian de las redes conocidas hasta ahora por el enfoque que toman en los niveles más bajos del modelo de Referencia OSI, a continuación se describen algunas características que nos servirían de referencia para en un futuro hacer de las redes Mesh una tecnología muy popular.

6.5.1 Capa Física

La principal función de las técnicas usadas en la capa física involucra dos aspectos: uso eficiente del espectro y robustez a la interferencia. Para incrementar la capacidad y disminuir el retardo de transmisión e interferencia co-canal, debidas a la reutilización de canales, es necesario usar diversas antenas y técnicas de antenas inteligentes en las redes Mesh.

Por otra parte, es indispensable mejorar el desempeño de las técnicas en la capa física. Los sistemas de múltiples antenas han sido investigados por años, sin embargo la complejidad y el costo que implican estos sistemas es demasiado alto para ser ampliamente aceptados por las WMNs.

Para utilizar eficientemente las características proporcionadas por la capa física, los protocolos de capas superiores, especialmente protocolos MAC, requieren ser rediseñados; de no ser así, las ventajas adquiridas por las nuevas técnicas empleadas en dicha capa, serían inutilizables.

6.5.2 Capa de Enlace

Los protocolos MAC para redes Mesh en comparación a los protocolos de las WLANs convencionales, presentan las siguientes diferencias:

- El protocolo MAC para redes Mesh, se enfoca en comunicaciones más allá del punto a punto, por lo que permite operar en comunicaciones multipunto a multipunto.
- Se necesita una red auto-organizable para el protocolo MAC.
- La movilidad afecta el desempeño en el protocolo MAC.

Existen tres enfoques para el protocolo MAC, utilizando un sólo canal de frecuencias:

- Mejorar los protocolos MAC existentes.
- Diseñar una capa intermedia con técnicas avanzadas en la capa física.
- Proponer la innovación de los protocolos MAC.

Por otra parte, se puede implementar un protocolo MAC multicanal en diferentes plataformas de hardware, el cual también influye en el diseño de dicho protocolo. Um protocolo MAC multicanal puede pertenecer a una de las siguientes categorías:

- Protocolo MAC multicanal con un tranceptor simple.
- Protocolo MAC multicanal con múltiples tranceptores.
- Protocolo MAC con múltiples radios.

Cuando las técnicas avanzadas tales como MIMO son empleadas en la capa física, se deben de proponer nuevos protocolos MAC, para utilizar las ventajas ofrecidas en dicha capa. Los protocolos MAC multicanal para radios con multiples tranceptores no han sido totalmente explorados, probablemente a causa de los altos costos en dichos radios. Sin embargo, una vez que los costos disminuyan, un protocolo MAC multicanal con múltiples tranceptores, podría ser una solución prometedora para las WMNs. Además, los desarrollos en protocolos MAC con múltiples métricas de QoS tales como el retardo y paquetes de datos perdidos, proporcionarán temas importantes a considerar en las WMNs. La implementación es otro reto importante relacionado al protocolo MAC, porque tanto software como firmware podrán ser considerados cuando se modifique el protocolo MAC.

6.5.3 Capa de Red

El protocolo IP ha sido aceptado como el protocolo de la capa de red, dentro del modelo de referencia OSI, por muchas redes inalámbricas, incluyendo las WMNs. Sin embargo, los protocolos de enrutamiento para las redes Mesh difieren de los utilizados en las redes cableadas y celulares. Debido a que las WMNs comparten características similares con redes móviles Ad-Hoc, los protocolos de enrutamiento

desarrollados para estas pueden ser aplicados a las WMNs. A pesar de la disponibilidad de varios protocolos de enrutamiento por parte de MANETS, el diseño de dichos protocolos se encuentra en continuas investigaciones para su desarrollo. El protocolo de enrutamiento para las redes Mesh, debe considerar las siguientes características:

- Métricas de desempeño
- Tolerancia a fallas de enlace
- Balanceo de carga
- Escalabilidad

Aunque existen diversos protocolos de enrutamiento, se necesita tomar en cuenta muchas consideraciones en la investigación, como la escalabilidad en las WMNs. Los protocolos de enrutamiento jerárquicos, podrían resolver parcialmente el problema, debido a su complejidad y difícil administración.

6.5.4 Capa de Transporte

Debido a las características de las redes Ad-Hoc y multi-hop en las WMNs, uno de los problemas críticos causando la degradación del desempeño del protocolo TCP, es la asimetría de red. La tasa de paquetes perdidos y las latencias en la red, pueden ocasionar la asimetría en las WMNs, ya que los datos TCP y los paquetes ACK pueden tomar dos diferentes trayectorias con diferentes tasas de paquetes perdidos y latencia.

Para mejorar el desempeño del protocolo TCP en las WMNs, deben existir nuevos esquemas de diseño basados en la diferenciación entre paquetes perdidos, causados por los errores o congestiones en la red.

6.5.5 Capa de Aplicación

El despliegue de las WMNs es determinado por las aplicaciones, pues los descubrimientos y desarrollos innovadores son claves fundamentales en el éxito de las WMNs. Los protocolos utilizados en la capa de aplicación, están compuestos de protocolos de administración, los cuales monitorean el desempeño de las WMNs.

Actualmente se han propuesto algunos protocolos administrativos para redes inalámbricas Ad-Hoc. Sin embargo, la eficiencia de estos esquemas requiere mejorar a una red WMN a gran escala.

6.6 Conclusiones del Capítulo

La arquitectura Mesh no sigue un juego de reglas. Las redes Mesh se denominan a veces como redes auto-reparables o auto-montables. Estas redes son de gran flexibilidad, así que pueden ser configuradas sin la necesidad de contar con capacidades de diseño sofisticadas. Normalmente tienen un rendimiento más pobre y menos predecible que una red de infraestructura, y es menos eficiente ya que los elementos de la red no tienen por qué estar necesariamente óptimamente situados, pero gracias a usar una arquitectura híbrida, es decir, un Backbone construido usando varios tipos de tecnologías de radio entre sus Ruteadores y a que en nuestra red, implementada en una zona rural, los elementos de dicha red podrían ser estáticos, esta eficiencia se ve incrementada.

Gracias un backbone inalámbrico una red inalámbrica convencional se puede unir a la red Mesh conectándose a un enrutador Mesh, pues dichos enrutadores proveen de interfaces inalámbricas construidas sobre similares o diferentes tecnologías de acceso inalámbrico.

El único problema que se presenta es la asignación de canal, necesitamos unir cada interfase de red a un canal de radio, en el cual el ancho de banda en cada enlace virtual es proporcional a la carga que necesita llevar, los nodos de una WMN necesitan compartir un canal común por lo que tendríamos que disminuir el número de vecinos con los cuales se comparte el canal común, Para lograr esto necesitamos determinar que interfase utilizará el nodo Mesh para comunicarse con un nodo vecino y de esta manera asignar el canal de radio.

Finalmente, para que las redes Mesh lleguen a ser tan populares como las demás redes, se debe de llevar acabo una investigación muy a fondo de ellas, dicha investigación radicaría en las mejoras a las diversas capas del modelo de referencia OSI.

CAPÍTULO 7

CASO DE ESTUDIO

7.1 Descripción

En años recientes, han existido diversas tentativas para construir comunidades basadas en redes Mesh con intenciones experimentales y comerciales. La mayoría de las comunidades involucran tecnologías propietarias e instalaciones de antenas al aire libre. En nuestro caso de estudio, utilizaremos APs para accesos locales en nuestras subredes y antenas direccionales para subredes alejadas.

La tecnología de las redes MESH resuelve algunos problemas de las redes Wi-Fi convencionales.

Estas son algunas de las razones del porque las redes Mesh son vistas como una opción atractiva:

- Mitigación de la interferencia
- Facilidad de crecimiento y de mantenimiento
- Organización y modelo de negocio cooperativo
- Red robusta y adaptable
- Consumo de energía
- Integración
- Entornos urbanos y rurales

La intención de nuestro caso de estudio es la implantación de una WMN en una zona rural, dentro de la región más poblada de la Cabecera Municipal, ubicada en el Municipio Eloxochitlán del Estado de Hidalgo, para conectarse a Internet de banda ancha. El protocolo de enrutamiento más factible para la presente propuesta es el AODV.

7.2 Tecnología para Redes Mesh

Para que dicho proyecto sea factible fue necesario investigar el tipo de hardware y software de esta tecnología disponible en el mercado. Aún cuando esta tecnología se ve como una opción muy atractiva, todavía se encuentra en proceso de desarrollo, por lo que en un futuro y gracias a aportaciones a esta tecnología, su desempeño mejorará y la idea de implantación de una red comunitaria será cada vez más factible.

7.2.1 Software para WMNs

Prácticamente cualquier nodo inalámbrico con una tarjeta de red, puede convertirse en un nodo Mesh mediante modificaciones de software. Las configuraciones son muchas, sin embargo podemos mencionar algunos sistemas operativos tales como, Pebble, Linux, MeshLinux, Locustworld, FreifunkFirmware, CUWin.

A continuación se describen algunas de las configuraciones posibles:

a) *MeshLinux*

- Basada en Slackware Linux, alrededor de 50 MB ISO
- Apropiada para ser utilizada en laptops convencionales
- Los protocolos Mesh incluidos son: MobileMesh, OLSR, BGP, OSPF, RIP y AODV

b) *Zebra/Quagga*

- Software libre que maneja protocolos de enrutamiento basados en TCP/IP, parte del proyecto GNU Project, distribuido como GNU GPL
- Protocolos Mesh incluidos: BGP4 (RFC1771, A Border Gateway Protocol 4), RIPv1, RIPv2, OSPFv2, soporta IPv6
- Quagga añade RIPv3, OSPFv3

c) *CUWIN*

- Sistema operativo completo para nodos Mesh inalámbricos
- Distribución NetBSD con controladores inalámbricos, códigos de enrutamiento y sistemas especializados que permiten a los nodos enrutar el tráfico de cada uno de los nodos

d) *Pebble*

- Basado en Debian GNU/Linux
- Red inalámbrica Mesh con requerimientos mínimos de memoria, por lo que es apropiado para SBC (Single Board Computers) como el Soekris y similares
- Corre en diversos sistemas por ser muy pequeño
- Protocolos Mesh incluidos: OSPF y OLSR en la versión de Metrix

e) *OpenWRT*

- Distribuido por la plataforma Linux para el WRT54G
- Contiene un firmware con la virtud de añadir paquetes, incluso se puede personalizar
- Compuesto por dos sistemas de archivos y una partición de sólo lectura, la cual permite añadir las funcionalidades que se deseen
- Proporciona inicialización de la red

7.2.2 Hardware para WMNs

Actualmente existen pocos proveedores que pueden ofrecer tecnología para redes Mesh, a continuación se enlistan algunos con sus respectivas contribuciones.

a) *MERAKI*

Empresa estadounidense, la cual comenzó como un proyecto de doctorado en el MIT, para crear una red de acceso a una comunidad de estudiantes graduados. Con el éxito del proyecto se convirtió en una empresa que ofrece sus servicios a grandes complejos de departamentos en zonas urbanas y a pequeñas villas de la India. Salinas, una parroquia rural ubicada en la provincia de Bolívar, es la localidad piloto en donde arrancó este novedoso proyecto de telecomunicaciones de América Latina.

El equipo que ofrece Meraki es un enrutador Wi-Fi implementado en un sólo chip, lo cual permite bajar el costo a \$50.



Imagen 7.1 Equipo Meraki

Meraki vende dos tipos de Estaciones Base:

- Meraki Mini (US-\$49), con un alcance de 30 a 50 metros en interiores
- Meraki Mini Outdoor (US-\$99), resistente al viento, polvo, lluvia, nieve y sol directo, con un alcance de 100 a 250 metros en exteriores.

Dichas estaciones base, tienen la posibilidad de conectarles antenas externas que aumenten la señal compartir su conexión con Wi-Fi.

b) *MeshNode*

Producto en venta por la empresa Saxonia NETWORKS, la presentación del nodo Mesh está compuesto por una pequeña caja diseñada para trabajar al aire libre. Contiene un sistema operativo basado en Debian/GNULinux y dos tarjetas de radio en dos bandas, 2.4 GHz y 5.8 GHz. Utiliza el protocolo OLSR como protocolo de enrutamiento. El precio aproximados a los \$850, el cual varía dependiendo de los aditamentos que se compren.

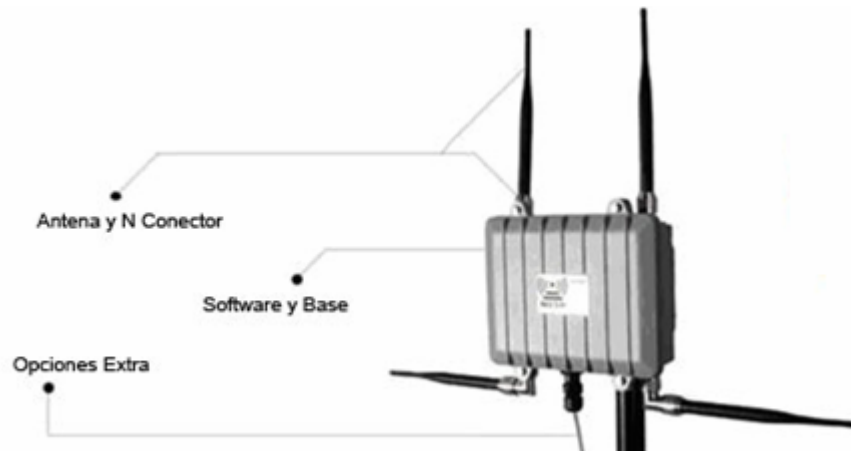


Imagen 7.2 MeshNode

c) *Linksys WRT54G Wireless-G Broadband Router*

Linksys, compañía con sede en Estados Unidos, ofrece este AP inalámbrico ampliamente utilizado bajo condiciones adversas por su bajo costo y fácil manejo. Por lo que, viene a ser una de las opciones más interesantes y versátiles.



Imagen 7.3 Linksys WRT54G

Linksys WRT54G, es un dispositivo muy popular a nivel mundial y se puede adquirir por menos de \$ 100. Existen numerosas versiones con diferentes capacidades de memoria RAM e inclusive con diferentes sistemas operativos, pero lo primero que se hace para emplearlo en redes comunitarias es sustituir el firmware original por uno de los desarrollados independientes.

d) *Locustworld Mesh Box*

La Compañía Locustworld con sede en el Reino Unido, produce el Software MeshAP para crear una red comunitaria WMN usando MeshBoxes. En el presente trabajo de tesis proponemos implantar nuestra comunidad de nodos Mesh utilizando este producto, por lo que más adelante nos centraremos en las características de este equipo.

La razón por la que elegimos este enrutador se debe a que ha funcionado correctamente en varios proyectos de desarrollo en comunidades Mesh, además de que cumple con las características que requerimos para tener éxito en nuestra empresa.

7.3 Descripción del Locustworld Mesh Box

LocustWorld es una de las pocas compañías que ofrece el protocolo de enrutamiento AODV precargado, compatible con el estándar 802.11b, gracias a un software no propietario diseñado por la compañía LocustWorld. Una serie de MeshBoxes proporcionan una red auto-organizable con enrutamiento dinámico entre sus nodos.

Mesh Box, ubicado en una mini-box IP65 certificada y a prueba de agua, corre el software LocustWorld Mesh AP, usando el Kernel Linux con enrutamiento AODV. Cada nodo está compuesto por cada uno de los siguientes elementos:

- Dos antenas omnidireccionales con una cobertura máxima de 100 m y con opción para conectar antenas de mayor rango de cobertura o bien antenas que incrementen el desempeño de nuestra red.
- Una tarjeta de red, sin usar memoria volátil para el almacenamiento.



Figura 7.4 Mesh Box LocustWorld

A continuación se describen las especificaciones técnicas de este producto:

Características		Observaciones
Físicas	Dimensiones sin Antena	220 x 180 x 55 mm
	Antena Estándar	200 mm
	Cubierta	Ituner Minibox
	Peso	2.2 Kg
Eléctricas	Alimentación	12- 18V DC
	Uso típico de Potencia	Debajo de 5W, variable
Radio Frecuencia	Bandas Wi-Fi	2.4 GHz - 2.462 GHz
	Potencia Radiada	802.11b hasta 200mW donde es Permitido
	Interfase RF	Hembra tipo N, polarización horizontal
	Rango	100 m
Procesamiento	Procesador Central	233 MHz AMD Geode
	Memoria	128 MB
	Almacenamiento	32 MB + NV Compac Flash
	Interfase Inalámbrica	802.11b
Software	Sistema Operativo	Linux 2.4.19+
	Versión Actual de Mesh AP	Mesh AP v25.1311
	Protocolos de Red	TCP/IP - AODV

Tabla 7.1 Especificaciones Técnicas

En la siguiente tabla se enlistan las diferentes opciones de configuración de radios:

Opciones de Radio	Primer Radio	Segundo Radio
802.11b Prism & abg Atheros	Senao NL2511MP+	Wistron CM9
Single 802.11b Prism	Senao NL2511MP+	Siguiente actualización
Dual 802.11b Prism	Senao NL2511MP+	Senao NL2511MP+
Single 802.11abg Atheros	Wistron CM9	Siguiente actualización
Dual 802.11abg Atheros	Wistron CM9	Wistron CM9

Tabla 7.2 Opciones de configuración de radios

Debido a que en la presente propuesta utilizaremos el Estándar 802.11b, elegiremos la configuración Single 802.11b Prism.

7.4 Implantación de una red Mesh Usando MeshBoxes

Para llevar a cabo una implantación exitosa de una red Mesh, es necesario tomar en cuenta ciertos criterios, los cuales se enlistan a continuación:

a) *Software*

El software viene incluido en el Meshbox prefabricado, lo cual permite comenzar con la instalación del primer nodo. El software se descarga directamente desde la página de LocusWorld y se almacena en un disco que posteriormente sirve como disco de secuencia de arranque en la computadora a convertir en nodo Mesh.

b) *Hardware*

Comprar hardware prefabricado como el que ofrece la empresa LocusWorld, que para nuestro propósito y para fines prácticos, será el tipo de hardware que utilizaremos. El MeshBox es una caja que funciona como Enrutador Mesh y Gateway de Internet. Además, se puede convertir una vieja computadora en un Enrutador Mesh por medio del Software que se mencionó en la sección 7.2.1 y más específicamente el software libre que ofrece la empresa LocusWorld.

En caso de requerir mayor cobertura, se podría agregar antenas de alta ganancia, tomando en cuenta la hoja especificaciones para elegir el tipo de conector de radio. Dichas antenas se ofrecen por varios proveedores a nivel mundial.

c) *Primer Nodo*

Se requiere de un Enrutador o un servidor DHCP. En nuestro caso, utilizaremos un enlace satelital que proporcione conexión a un nodo, para que nuestra red compuesta por Meshboxes se encargue de repetir esa conexión por toda la zona. Para concluir con la implantación de primer nodo, el equipo que proveerá dicho enlace servirá como Servidor DHCP asignando IPs a todos los nodos de la red.

Finalmente, necesitamos instalar NetStumbler, un programa para Windows que permite detectar redes inalámbricas, utilizando estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g. Dicho programa tiene las siguientes funciones:

- Verificar que nuestra red esté bien configurada
- Estudiar la cobertura o señal de red en diferentes puntos de cobertura
- Detectar otras redes que puedan causar interferencias a la nuestra
- Para orientar antenas direccionales en enlaces de larga distancia, o simplemente para colocar la antena o tarjeta en un lugar con mejor calidad de la señal
- Detectar AP's no autorizados (Rogue AP's)
- Detectar todos los AP's que están a nuestro alrededor

Para acceder al sistema operativo del MeshBox, necesitamos una interfaz Windows, a través de un cliente SSH, el cual puede ser descargado de la página Web. Una vez que el MeshBox haya iniciado, debemos ser capaces de detener Netstumbler e inalámbricamente estar asociado con el MeshBox.

Una vez asociado inalámbricamente, se utiliza el cliente SSH para acceder al MeshBox. Las credenciales prediseñadas para autenticarse a la red son las siguientes:

- Usuario: root
- Contraseña: terra7

Finalmente, se debe probar si el MeshBox tiene conexión a Internet a través de su puerto Ethernet. Para determinar esto se debe escribir el siguiente comando:

- `getandverify test`

Si se obtiene el comando "TEST COMPLETED", probablemente el equipo está funcionando correctamente.

d) Registro en WIANA

WIANA es un sistema que maneja el direccionamiento IP en las redes Mesh. Esto asegura que no existan conflictos entre direcciones IP en la red.

Se debe registrar la red en <http://wiana.org>, ingresando una dirección de correo electrónico, de esta manera WIANA envía un correo de confirmación con una liga, dicha liga activa el envío de un nuevo correo electrónico con una clave inicial.

Para registrar el primer nodo, hay que introducir el siguiente comando:

- `wianaregister`

Inmediatamente se despliega una ventana solicitando la dirección de correo enviada por correo.

Un mensaje de notificación de que el nodo ha sido confirmado debe aparecer después de lo anterior. Finalmente, se configura el primer nodo ingresando a la página de WIANA.

El procedimiento completo se puede obtener de la página de LocustWorld:

- <http://locustworld.com/Meshapsteps/wiki>

e) Nodos Extra

Para poner en funcionamiento el siguiente nodo, se utiliza el mismo procedimiento para implementar el primer nodo. El MeshAP puede ser configurado como Gateway de Internet o únicamente como repetidor, como Gateway el MeshBox tiene conexión alámbrica y funge como Backhaul, cuando se trata de un repetidor funciona únicamente con una interfaz inalámbrica y se comporta como Enrutador Mesh.

f) Teoría de operación

Muchas redes necesitan ser configuradas, aún en aquellas donde la configuración es automática. Esta comunicación es usualmente entre un usuario final y un proveedor de servicios. El software MeshAP permite que las redes crezcan. Cualquier dispositivo inalámbrico puede detectar ondas de radio y se puede localizar en cualquier punto de la red. Cuando se une a la red, también la extiende, y otros dispositivos pueden unirse al borde de la nueva red, y así sucesivamente.

Debido a que la configuración es automática, no se requiere de ninguna configuración por parte de los operadores de un nodo inalámbrico o alguno conectado a ese nodo. La red sólo supone el mejor camino para enviar la información a través de ondas de radio. Si el destino está fuera del rango de cobertura, los datos viajan a través de otros nodos hasta alcanzar su destino.

El software MeshAP, está diseñado para ser implementado en un nodo con el fin de servir a otros nodos, el software tiene un doble propósito, además de conectarse hacia la red Mesh, pues aún si el nodo es sólo un repetidor y usa el software para alcanzar Internet, este nodo provee una extensión a la red Mesh y una célula estándar DHCP para clientes que no sean clientes Mesh que deseen registrarse en la red.

El software se carga, entonces se asigna una dirección, típicamente en la gama 10.x.x.x. La dirección asignada es inicialmente al azar. Después, intenta encontrar un Gateway a Internet, primero probando con las direcciones 192.168.1.1/255.255.128.0 y después usando un cliente DHCP en la interfaz Ethernet. Si no encuentra un Gateway, el software asume que tiene sólo interfaz inalámbrica y que es una celda-repetidor.

La celda enciende un servidor interno DNS y un Proxy Web transparente en el puerto 80 y 8080, también se enciende un servidor DHCP y una red clase C aleatoria es elegida en el rango 192.168.128.0/255.255.128.0.

Los clientes conectados a la celda DHCP están direccionados a la interfaz inalámbrica por el Gateway y al servidor DNS. El servidor DNS funcionando en el repetidor siempre devuelve la dirección del Gateway, no importando el dominio elegido. Hasta este punto, el nodo todavía no puede servir a clientes, pero si puede registrarlos.

El encargado de servir a los clientes, es el Módulo Kernel AODV y el nodo encuentra las celdas vecinas en su rango local por medio del envío y recepción Broadcast de paquetes UDP. Cualquier celda dentro de la red Mesh que funja como Gateway, difunde una ruta a una dirección falsa que implique un Gateway Internet.

La celda entonces conmuta todo su tráfico de salida del DNS e IP para ir vía el enlace VPN Gateway.

La configuración DHCP es también actualizada para servir a la dirección remota del Gateway como si fuera un Servidor DNS (los nodos Gateway funcionan con un verdadero Proxy DNS). Cualquier cliente que se registre antes de que el enlace sea encontrado, enviará su tráfico a la celda local la cual hará la función de Proxy via http Proxy, cualquier cliente que se registre después de que un Gateway sea encontrado, recibirá los detalles del Gateway remoto y tendrá ruteo IP completo.

Cualquier cliente que se registre directamente en una celda que tenga un Gateway de Internet local se irá directamente por ese Gateway.

Hasta este momento hemos descrito la forma en la que se configurará y como es que funcionará nuestra red utilizando los MeshBoxes, más adelante se describirá la implantación espacial de los nodos Mesh en la comunidad Rural elegida.

7.5 Proveedor del Enlace Satelital

La serie HN7000S de los Sistemas MUNDOSAT proporcionan velocidad, seguridad y escalabilidad que la transmisión de banda ancha por satélite requiere a un precio accesible.

Con el sistema HN7000S de MUNDOSAT se obtienen descargas de alta velocidad y con el ancho de banda a través de la conexión directa al satélite en una modalidad de "doble vía" sin pasar por ningún proveedor de servicios de Internet de México, acelerando así al máximo la mejor conexión a Internet.

El equipo HN7000S incluye:

- Un disco parabólico de 74 cm y 98 cm, según sea el caso
- LNB de recepción simple
- Kit de montaje robusto
- Un sólo equipo para recibir y transmitir

Los precios varían dependiendo de las velocidades de bajada y subida, estos pueden ir desde \$1,400 pesos a \$5,400 pesos mensuales y el costo del equipo es de \$16,400 pesos.

7.6 Propuesta de una Red Mesh en la Cabecera Municipal del Municipio de Eloxochitlán

El municipio de Eloxochitlán, es una zona rural, cuya extensión territorial es de 200.4 Km.², lo cual representa el 0.95% del total de la superficie del Estado de Hidalgo. Tiene una densidad de población de 0.07 habitantes por Km.², concentrándose la mayor parte en las comunidades de Hualula y la Cabecera Municipal. El municipio está comprendido por un total de 11 comunidades y la Cabecera Municipal, mismas que a continuación se describen:

- Cabecera Municipal - Eloxochitlán
- Comunidad del Municipio - Almolón
- Comunidad del Municipio - Almoloya
- Comunidad del Municipio - Chalmita
- Comunidad del Municipio - Chacaya
- Comunidad del Municipio - Hualula
- Comunidad del Municipio - Itztacapa
- Comunidad del Municipio - Otatla
- Comunidad del Municipio - San Juan Amajaque
- Comunidad del Municipio - San Pedro Gilo
- Comunidad del Municipio - Tecomate
- Comunidad del Municipio - Tepeyica

La Cabecera Municipal, ubicada al Noreste del Municipio Eloxochitlán dentro del Estado de Hidalgo, tal y como se muestra en la figura 7.1, tiene una extensión territorial de 15.3 Km.², en la que viven 681 habitantes, de los cuales 308 son hombres y 373 mujeres.



Figura 7.5 Cabecera Municipal

Debido a que el estado de Hidalgo es rico en recursos naturales y el tipo de suelo favorece a las actividades de agricultura y pastoreo, el estado se podría convertir en una estrategia comercial a largo plazo.

La creación de nuestra comunidad Mesh para la zona rural en cuestión, tiene los siguientes objetivos:

- Incrementar la productividad de las micro, pequeñas y medianas empresas del sector rural
- Ahorrar costos en transportación de personas y bienes
- Crear nuevas empresas
- Mejorar el acceso a la educación para incrementar la instrucción de la población
- Tener mayor viabilidad en actividades comerciales
- Mejorar el cuidado de la salud, mejor conocimiento y uso de los métodos de planificación familiar y reducción de mortalidad
- Promocionar la cultura y atracción de turismo
- Acceder a los servicios del gobierno
- Facilitar a las personas el participar en procesos democráticos
- Reducir el aislamiento y mejorar contacto con familiares lejanos

Dicha zona, consta de aproximadamente doscientas localidades sin infraestructura para el acceso a Internet de banda ancha. En un inicio existirán trece nodos Mesh, configurados de la siguiente manera:

- a) Once nodos compuestos por dos interfases
 - Una interfase AP para proporcionar conectividad a los usuarios finales.
 - Una interfase Mesh para la comunicación entre los nodos Mesh, es decir, la comunicación entre enrutadores Mesh y que indicará el camino hacia el backhaul, formándose de esta manera la malla.
- b) Dos nodos Mesh configurados como Backhails con una tercera interfase de red que conecta todas las subredes con el resto del mundo
 - Una interfase Internet que servirá como el Gateway a Internet para los usuarios.

La figura 7.2, muestra como se encuentran conectados los nodos de nuestra red Mesh para la Cabecera Municipal del Municipio Eloxochitlán:

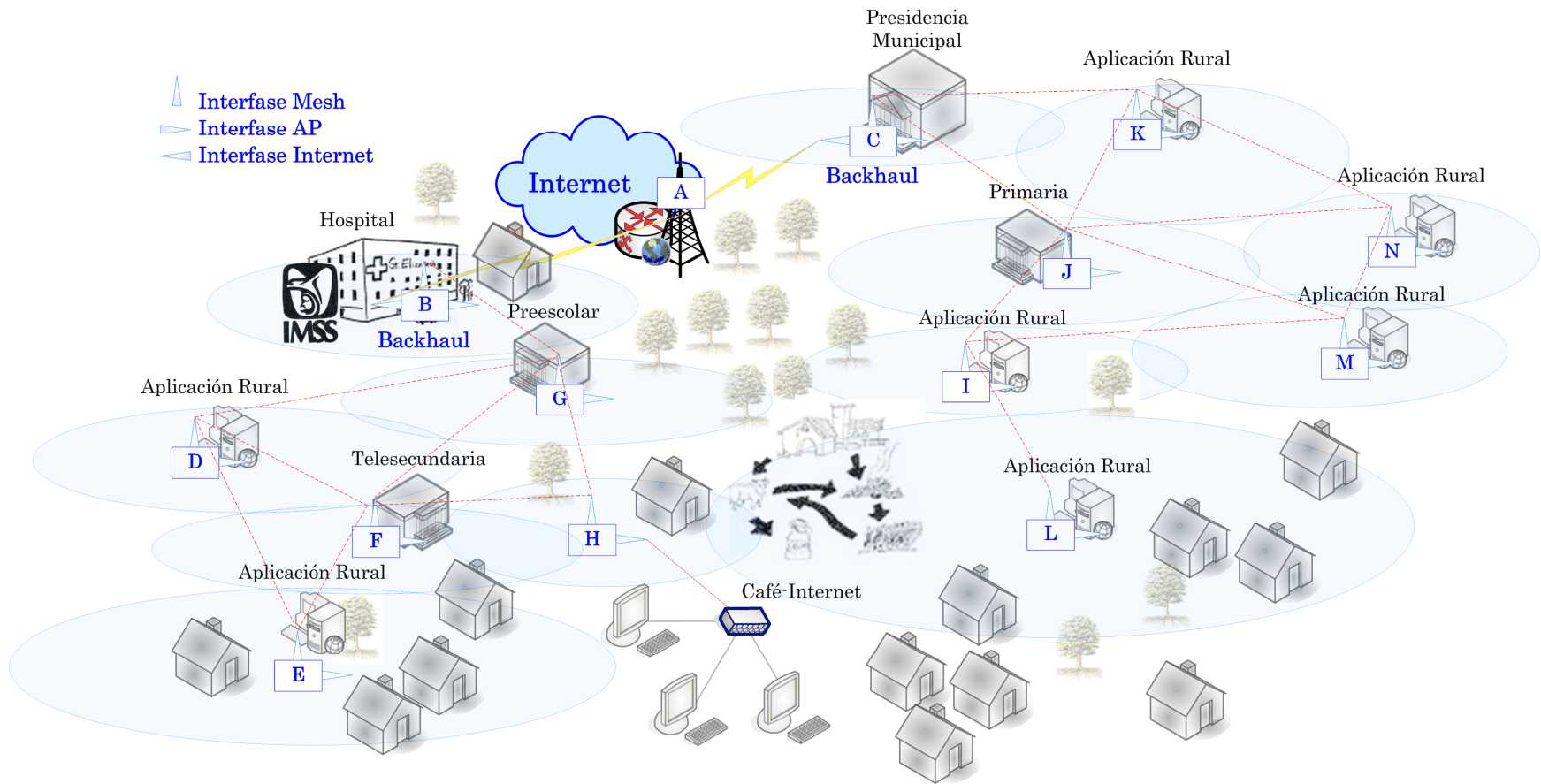


Figura 7.6. Red Mesh en la Cabecera Municipal

El nodo A, es el Gateway para conectar a la Cabecera Municipal a Internet. Los nodos B y C son nodos backhuls, ubicados en la Unidad Médico Rural del IMSS y en la Presidencia Municipal respectivamente. A su vez, el primero de ellos conecta a los nodos D, E, F, G, H y el segundo de ellos a los nodos I, J, K, L, M y N con el resto de la red. Configuramos la red con dos pequeñas subredes independientes debido a que existen grupos de casas alejadas entre si. Los usuarios finales, representados por diferentes tipos de Terminales en la figura, obtienen acceso a la red mediante la interfase AP.

Como se menciona en un inicio, esta red irá creciendo dependiendo de las necesidades de la población, quizás no se necesite añadir nuevos Meshboxes, sino que los mismos usuarios podrían utilizar una maquina antigua para crear su propio nodo Mesh, utilizando el software no propietario de LocustWorld, de esta manera ir ampliando la zona de cobertura de la malla inicial, y así, alcanzar el objetivo final, que es aprovechar al máximo las capacidades de esta tecnología por ser auto-configurable, auto-organizable y por sus bajos costos de instalación.

7.7 Desempeño de las redes Mesh

Conforme a lo que se ha mencionado en el transcurso del presente documento, las WMNs están compuestas de una arquitectura basada en la transmisión multi-hop con dos objetivos fundamentales: (a) ofrecer conectividad a los usuarios finales; (b) formar una infraestructura inalámbrica auto-organizable. Por lo que, la capacidad de transferencia de datos es un factor fundamental dentro de una infraestructura inalámbrica, limitando las ventajas de una conectividad eficiente que podrían aprovechar los usuarios en el uso de sus aplicaciones.

La interferencia generada sobre otros nodos por cada paquete transmitido reduce el desempeño en el descubrimiento de rutas, aún cuando nuestro protocolo de enrutamiento, AODV, es eficiente dentro del ambiente inalámbrico. La figura x muestra la relación entre Interferencia, Probabilidad de Error de Paquete (PER, de sus siglas en inglés: Packet Error Rate) y Potencia de Transmisión:

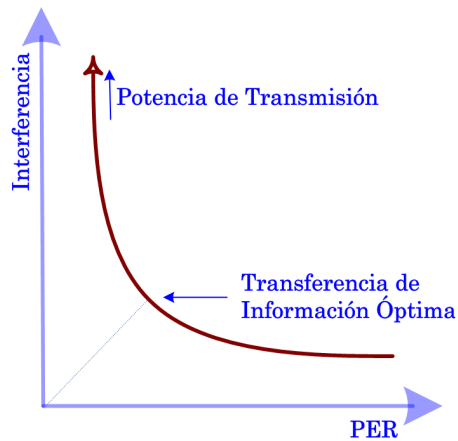


Figura 7.7 Relación entre Interferencia, PER y Potencia de Transmisión

Se puede apreciar que demasiada Potencia de Transmisión, involucra una mínima Probabilidad de Error de Paquete, pero un nivel alto de Interferencia. Por lo que, una óptima transferencia de información, se presenta en el origen de los ejes, donde la transmisión no produce interferencia ni la pérdida de paquetes de datos.

Considerando que en nuestra WMN, cada usuario o dispositivo desea comunicarse sin la necesidad de ayuda o una administración centralizada; la transferencia de datos puede ser de 1, 2, 5.5 y 11 Mbps; los nodos están estáticos; la Potencia de Transmisión oscila de 20 a 200 mW; y los usuarios generan en promedio tráfico similar en la red, debido a que la mayoría de las aplicaciones no requieren descargas masivas de información. El mayor porcentaje del desempeño de la red depende de lo siguiente.

7.7.1 La latencia en el descubrimiento de nuevas rutas

Tiempo transcurrido entre la transmisión de un RREQ (de sus siglas en inglés: Route Request) y la recepción de un RREP (de sus siglas en inglés: Route Reply) en el nodo fuente, el cual se puede medir con el envío de un ICMP Echo Request, mejor conocido como ping, cuyo valor aceptable varía de 4 a 100ms dependiendo de la cantidad de nodos, máximo 4 para nuestro caso de estudio, utilizados en el descubrimiento de la ruta y de la existencia de trayectorias definidas en la tabla de enrutamiento. Si embargo, ciertas aplicaciones deben ser flexibles cuando el tiempo para descubrir una ruta sobrepasa el umbral definido previamente.

7.7.2 La Calidad de Conexión entre los Nodos Vecinos

Basada en el valor de PER, para establecer si el canal inalámbrico entre dos nodos es lo suficientemente bueno para soportar mensajes Broadcast y Unicast, independientemente de la tasa de transmisión utilizada.

7.8 Obstáculos Clave

A continuación se describen algunos obstáculos que se pueden presentar durante el desarrollo de las WMNs en la zona rural propuesta:

7.8.1 Interferencia

Para proporcionar una mejor conectividad, era recomendable que las tarjetas para las interfaces Mesh y APs, operaran con un alto poder de transmisión (200mW), lo cual implicaba un nivel alto de interferencia. Sin embargo, como las interfaces AP proporcionan conectividad sólo a los residentes de un nodo en particular, la potencia de transmisión disminuirá a 20mW, por lo que la interferencia disminuye un 53% aproximadamente.

7.8.2 Transferencia Inconsciente de Energía

La potencia de transmisión máxima de la interfase Mesh para todos los nodos es de 200mW. La potencia varía entre las diferentes interfaces, en la que algunas tarjetas, tienen potencias de transmisión de 28 dbm, mientras otras utilizan una potencia de transmisión de 12 dbms, por lo que en nuestra comunidad Mesh se debe considerar que estas diferencias podrían afectar el desempeño de la red.

7.8.3 Calidad Inestable en las Conexiones

Algunos de los nodos Mesh pueden no estar conectados a Internet aunque se encuentren dentro del rango de conexión, posiblemente se deba a conexiones asimétricas.

7.8.4 Densidad en la Red

Depende de los nodos cercanos entre si. Pocos nodos pueden tener más de cuatro nodos vecinos, mientras otros pueden tener solamente uno o dos. La densidad en la red es un factor crítico para que las WMNs sean confiables, por lo que una red más densa podría proporcionar conexiones más utilizables y provocar incremento en la redundancia, lo cual, es un factor fundamental para asegurar una alta disponibilidad de la red.

7.9 Aplicaciones

Las WMNs proporcionan una variedad de servicios de telecomunicaciones, particularmente acceso a Internet, telefonía básica, video conferencia, actividades bancarias en línea, etc. Por lo que, sin importar el tipo, tamaño o la estructura de la administración, las WMNs deben considerar lo siguiente:

- Proporcionar información adecuada y servible
- Promover servicios
- Superar el obstáculo del analfabetismo
- Adaptarse y satisfacer las necesidades en el momento de la capacitación

A continuación se describen algunas aplicaciones para la Cabecera Municipal del Municipio Eloxochitlan dentro de nuestra comunidad Mesh, que aún cuando pueden ser realizadas con infraestructuras alámbricas, las tecnologías inalámbricas reducen significativamente los costos de instalación e incrementan la velocidad de transmisión en áreas donde no existe ninguna infraestructura.

7.9.1 Educación a Distancia

Actualmente, Internet es utilizado por instituciones educativas y gubernamentales, empresas privadas y personas de todo el mundo, entre quienes se llevan a cabo intercambios constantes de información dando origen a la llamada globalización de la comunicación, por lo que es necesario impulsar el desarrollo en comunidades que se encuentran alejadas de esta oportunidad.

La cabecera Municipal, cuenta en la educación preescolar con 24 alumnos, 2 maestros y 2 escuelas; en primaria con 142 alumnos, 6 maestros y 2 escuelas; en secundaria 70 alumnos, 8 maestros y 1 escuela.

Con esta aplicación, obtener educación a distancia con el apoyo de las WMNs, ayuda a mitigar la distancia entre los actores del proceso educativo y los integrantes de la comunidad rural gracias al principio de la bi-direccionalidad, el cual destaca lo siguiente:

- Interaccionar con el material de aprendizaje para establecer una comunicación didáctica, guiada por los mismos materiales interactivos del curso.

- Interactuar con los profesores, diseñadores e incluso con los propios compañeros, en aras de una optimización del hacer educativo.

7.9.2 Agricultura

La creciente presión de la competencia en el mercado global ha creado la necesidad de obtener información local, nacional e internacional que apoye en el negocio de la agricultura en las comunidades rurales, para interpretarla y aplicarla en decisiones para realizar negociaciones e identificar nuevas oportunidades en el mercado, Las WMNs pueden ser una fuerte herramienta de gran alcance para tener acceso a información técnica que impulse el desarrollo de la agricultura en estas comunidades.

En el Municipio de Eloxochitlán se cultiva principalmente el maíz, frijol, nogal, aguacate y papa.

Para obtener mejor provecho en este campo de aplicación, a continuación se mencionan algunas recomendaciones:

- Utilizar información dinámica y herramientas de aprendizaje comprensibles.
- Aprovechar los sistemas de mensajes de texto para compartir información entre agricultores.
- Distribuir geográficamente sistemas de vídeo y audio conferencias.
- Impulsar la publicidad mediante sistemas electrónicos.

7.9.3 Tele-medicina

La cabecera Municipal cuenta con un Centro de Salud Rural y una Unidad Médico Rural del ISSSTE, encargadas de ejecutar los programas Nacionales y Estatales de Salud, así como de operar las diferentes campañas de vacunación y la prestación del servicio médico a la región.

La aplicación de las WMNs reducirá costos de capacitación en el campo de la medicina, debido a que se aprovechará el uso eficiente de audio y video conferencias en los hospitales, para realizar diagnósticos y tratamientos en tiempo real a pacientes de las comunidades rurales. Además, se pueden crear programas informativos para mejorar la alimentación y prevenir enfermedades.

7.10 Modelo de Negocio

Es un mecanismo utilizado por una compañía, que contempla conceptos de estrategia e implementación, para planificar como generar ingresos y beneficios.

Tradicionalmente ha sido una tarea del Estado, proporcionar a la población de los satisfactores básicos para su desarrollo, como servicios de salud o educación. Sin embargo, empresas privadas podrían ofrecer dichos satisfactores, con inversiones mínimas, para contribuir en el desarrollo de las comunidades para:

- Reducir la dispersión tecnológica.
- Coadyuvar a que la zona rural se beneficie de la economía basada en el conocimiento.
- Promover un mejor uso de los recursos naturales y alentar métodos de producción ecológicamente propicios en la agricultura, la industria y los servicios, para evitar la degradación ambiental que típicamente ha acompañado los procesos de crecimiento.

El modelo de negocio que se propone en la tesis, se enfoca en fomentar el aumento de la eficiencia en todos los ámbitos, promover la adquisición, difusión y generación de tecnología y de orientar la inversión, con los esfuerzos del Sector Público, Privado y Social, a fin de servir a las comunidades.

Considerando que Wi-Fi no precisa la obtención de licencias por uso del espectro radioeléctrico, sobre todo cuando emplea las frecuencias de uso libre de 2,4 GHz y que no se requiere de infraestructura para construir una WMN en la zona rural, el gasto para construir la red se enfocaría solamente en la obtención de los APs inalámbricos, por lo que el costo de la red podría ser insignificante para quienes la respaldan económicamente.

El costo de los dispositivos que harían posible el funcionamiento de la red es de aproximadamente 90,000 pesos, tomando en cuenta que cada Enrutador Mesh cuesta alrededor de 5,700 pesos y que el equipo para el enlace satelital cuesta 16,400 pesos. Aunado a esto es el costo mensual por el servicio de Internet de banda ancha de entre 1400 y 5600 pesos.

Por otra parte, una forma para recuperar los gastos provocados por la instalación de la red, sería agregar publicidad a las páginas enfocadas en las aplicaciones de la propuesta para la zona rural, de tal forma que las empresas que proporcionen productos y servicios útiles a las zonas rurales, sean los comerciales electrónicos preferenciales para los integrantes de la comunidad.

Finalmente, se puede apreciar que donantes y organizaciones para el desarrollo están tomando conciencia apresuradamente de los beneficios que promete el acceso a Internet en la lucha contra la pobreza.

7.11 Conclusiones del Capítulo

A lo largo de la presente tesis, nos dimos cuenta que la implantación de una WMN en una zona rural presenta gran cantidad de obstáculos para su buen desempeño, los más dominantes son: interferencia, transferencia inconsistente de energía, es decir, el controlar la potencia es un factor importante a tomar en consideración, la calidad inestable en las conexiones y la densidad en la red, todos estos factores nos servirían como parámetros para poder hacer más eficiente el funcionamiento de ésta, ya que variando o haciendo lo posible para evitar tal o cual obstáculo, el desempeño de la red aumentaría.

Los servicios básicos se pueden suministrar de una manera efectiva y a un bajo costo usando la tecnología inalámbrica en zonas rurales, la Cabecera Municipal del Municipio Eloxochitlán es una zona rica en recursos naturales y que puede convertirse en una estrategia comercial a largo plazo gracias a dichos servicios. Estos pueden ser brindados a personas que ni siquiera saben utilizar una computadora, por lo que en el contexto del desarrollo rural, las WMNs son unas de las mejores opciones para proporcionar servicios tecnológicos de manera inalámbrica.

Finalmente, el hecho de la disponibilidad de información en una zona rural y que los miembros de esta sociedad tengan las mismas oportunidades en cuanto a tener acceso a información se refiere, el implementar una red de este tipo se convierte en un factor crítico, ya que gracias a esto las futuras generaciones podrían crecer más preparadas, ya sea autodidácticamente o bien con instrucción especializada, pero contando con los medios suficientes para dicha instrucción.

A pesar de que la tecnología Mesh aún se encuentra en vías de desarrollo, se pueden aprovechar y diversificar las capacidades de las redes Ad-Hoc por la semejanza existente en cuanto a carencia de infraestructura alámbrica, lo cual exige que los enrutadores Mesh sean capaces de integrar redes inalámbricas heterogéneas, proveer un servicio confiable, entre otras cosas. Por lo que, es necesario considerar que los sistemas de seguridad aplicados en redes Ad-Hoc no son del todo compatibles al usarse en WMN's, pero debido a que nuestra red estará integrada en una zona rural sin fines de lucro, la seguridad en nuestra red no será un factor crítico.

La capacidad de auto-organización presente en las WMNs reduce la complejidad del desarrollo y mantenimiento de las redes Mesh, por lo que se requiere una inversión mínima de la infraestructura. El backbone de las WMNs proporciona una solución viable hacia los usuarios para poder conectarse a Internet en cualquier momento y en cualquier lugar. Las WMNs permiten la integración de múltiples redes inalámbricas. Los obstáculos que se presentan al implantar una red Mesh se pueden ver como parámetros que al variarse o eliminarse en algunos casos incrementen de manera sustancial el desempeño de la red.

Las WMNs tienen el potencial para proporcionar una amplia gama de servicios a los usuarios que viven en zonas rurales y a los Proveedores de Servicios. Este tipo de redes se puede construir usando tecnologías existentes con los componentes disponibles en la red. Además, algunas compañías ya tienen productos para comercializar, mientras otras han comenzado a desarrollar mejoras en las WMNs para varios escenarios de aplicación.

Las características distintas y los factores de diseño críticos de las WMNs provocan fuertes problemas en los protocolos de comunicación, extendiéndose de la capa física hasta la capa de aplicación del modelo de referencia OSI. A pesar de los recientes avances en la investigación y el considerable desarrollo en las WMNs, todavía existen muchos problemas amenazantes: la capacidad teórica de la red sigue siendo desconocida, los protocolos en varias capas del modelo de referencia OSI necesitan ser mejorados, los nuevos esquemas requieren mejor administración en la red que aun carece seguridad.

Cualquier persona tiene el derecho a acceder al desarrollo humano independientemente del lugar en el que viva. El desarrollo humano contempla la formación de capacidades humanas, estado de salud o mayores conocimiento, y la forma de como el individuo emplea las capacidades adquiridas para el descanso, la producción, las actividades culturales, sociales y políticas. Tradicionalmente el desarrollo humano en zonas rurales ha sido una meta difícil de cumplir, pero no tiene por qué ser siempre así.

El uso inteligente y creativo de las nuevas tecnologías, puede llegar a ser un factor de desarrollo principal para cualquier comunidad por más aislada que se encuentre en la actualidad, debido a que las tecnologías de comunicación pueden convertirse en detonadores de desarrollo, por lo que merece la pena explorar su uso en las comunidades donde hasta hoy el difícil acceso ha sido una barrera para la atención a las mismas tomando en cuenta que pueden ser inversiones estratégicas.

Hasta el momento no existe un estándar que regule a las redes Mesh, sin embargo la IEEE está desarrollando un conjunto de estándares bajo el título 802.11s para definir una arquitectura y un protocolo para la red Mesh, dicho estándar se encuentra todavía en pruebas y se podría decir que todavía esta en borrador.

CONCLUSIONES

Las redes Wi-Fi en malla han ido ganando importancia comercial desde el año pasado, encontrándose hoy en día en su etapa inicial de su evolución y se esperan que los primeros productos salgan al mercado hasta el 2009.

Las redes en Mesh pueden operar tanto en ambientes interiores como exteriores, en redes tipo campus, inclusive en redes metropolitanas. Algunos fabricantes de equipos proclaman que las redes en malla podrán ofrecer en un futuro más ancho de banda a un costo más bajo comparadas con las redes celulares de tercera generación.

Finalmente y tomando en cuenta que el precio por el equipo es relativamente económico gracias a todas las ventajas que se podrían tener con este tipo de redes. El compartir los gastos que benefician a una sociedad entre los miembros de esta, sería otra opción, si bien, este tipo de redes no solamente se puede instalar en una zona rural, sino en cualquier lugar donde un grupo de personas esté interesado en recibir un servicio que pueda favorecer a todos los miembros de una comunidad.

ACK	Acknowledge - Confirmación
AP	Access Point – Punto de Acceso
AODV	Ad-hoc On Demand Distance Vector
ARP	Address Resolution Protocol – Protocolo de Resolución de Direcciones
BSS	Basic Service Set – Conjunto de Servicios Básicos
BPSK	Binary Phase Shift Keying – Modulación binaria por desplazamiento de fase.
CCK	Complementary Code Keying
CFP	Contention Free Period – Periodo Libre de Contención
CP	Contention Period – Periodo de Contención
CSMA/CA	Carrier Sense Múltiple Access with Collision Avoidance – Acceso Múltiple por Detección de Portadora con evasión de Colisiones
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection – Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones
CTS	Clear To Send – Libre para Enviar
DCF	Distributed Coordination Function – Función de Coordinación Distribuida
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name System
DS	Distribution System – Sistema de Distribución
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum – Espectro Disperso de Secuencia Directa
EGP	External Gateway Protocol – Protocolo de Compuerta Externa.
ESS	Extended Service Set – Conjunto de Servicios Extendido
ESSID	Extended service Set ID – Identificador del Conjunto de Servicio Extendido
ETSI	European Telecommunications Standards Institute – Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones.
FCC	Federal Communications Commission – Comisión de Comunicaciones Federales
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum – Espectro disperse de Salto de frecuencias
FSK	Frequency Shift Keying
FTP	File Transfer Protocol – Protocolo de Transferencia de Archivos
HR-DSSS	High Rate DSSS – DSSS de tasa alta
IBSS	Independent Basic service Set – Conjunto de Servicios Básicos Independiente
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers – Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IETF	Internet Engineering Task Force
IGP	Internal Gateway Protocol – Protocolo de Compuerta Interna.
IP	Internet Protocol – Protocolo de Internet
IR	Infra Red - Infrarrojo
ISM	Industrial Scientific Medical – Médico Científico Industrial

ISP	Internet Service Provider – Proveedor de Servicios de Internet
ISSSTE	Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado
LCA	Link State Advertisement – Aviso del estado de enlace.
LLC	Logical Link Layer – Capa de Enlace Lógico
MAC	Medium Access Protocol – Protocolo de Acceso al medio
OSPF	Open Shortest Path First
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing – Multiplexaje por División de Frecuencias Ortogonales.
OSI	Open Systems Interconnection – Interconexión de Sistemas Abiertos
P2P	Peer to peer – Punto a Punto.
PC	Point Coordinator – Coordinador Puntual
PCF	Point Coordination Function – Función de Coordinación Puntual
PDU	Packet Data Unit – Unidad de Paquete de Datos
PER	Packet Error Rate – Probabilidad de Error de Paquete.
PPM	Pulse Position Modulation – Modulación por Posición de Pulsos
PSK	Phase Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service – Calidad de Servicio
QPSK	Quadrature phase-shift keying - Modulación en cuadratura por desplazamiento de fase.
RTS	Request To Send – Petición para Enviar
RFC	Request for Comments – Petición de Comentarios.
RERR	Route Error
RREP	Route Reply
RREQ	Route Request
SSH	Secure SHell
SSID	Service Set Identification.
TCP	Transmission Control Protocol – Protocolo de Control de Transmisión
UDP	User Datagram Protocol – Protocolo de Datagramas de Usuario
WEP	Wired Equivalent Privacy – Privacidad Equivalente Cableada
WI-FI	Wireless Fidelity, estandar commercial 802.11
WLAN	Wireless Local Area Networks – Redes de área local inalámbrica
WN	Wireless Networks
WMN	Wireless Mesh Networks

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

CAPÍTULO 1. WLAN

[1] "Wi-Fi, el futuro de la comunicación",
<http://www.mailxmail.com/curso/informatica/wifi/capitulo1.htm>

[2] Intel Corporation, "The Technology Vision for the 802.11 Standard", 2005,
http://www.intel.com/standards/case/case_802_11.htm

CAPÍTULO 2. IEEE 802.11

[1] Hung-Yun Hsieh y Raghupathy Sivakumar, "IEEE 802.11 over Multi-hop Wireless Networks Problems and New Perspectives", GNAN Research Group School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology Atlanta, GA, USA,
<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/8066/22310/01040699.pdf?tp=&arnumber=1040699&isnumber=22310>

[2] "802.11b Technology",
<http://www.fcaglp.unlp.edu.ar/~esuarz/hardware/802.11b.pdf>

[3] Gema Santiago Praderas, "Redes inalámbricas (WLAN)-Estándar 802.11",
<http://www.uv.es/~montanan/redes/trabajos/wlan.doc>

CAPÍTULO 3. TOPOLOGÍAS DE RED MESH

[1] "Network Topology", http://en.wikipedia.org/wiki/Network_topology

[2] "Topología de Redes",
<http://www.geocities.com/TimesSquare/Chasm/7990/topologi.htm>

[3] "Network Topology",
http://physinfo.ulb.ac.be/cit_courseware/networks/pt2_1.htm

CAPÍTULO 4. TECNOLOGÍA MESH

[1] Ian F. Akyildiz y Xudong Wang, "A Survey on Wireless Mesh Networks", Georgia Institute of Technology

[2] Jane-Hwa Huang, Li-Chun Wang y Chung-Ju Chang, "Coverage and Capacity of A Wireless Mesh Network", Department of Communication Engineering, National Raffaele Bruno, Marco Conti y Enrico Gregori, "Mesh Networks: Commodity Multihop Ad Hoc Networks", National Research Council (CNR)

[3] Chiao Tung University, Taiwan,
<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10391/33022/01549452.pdf?tp=&arnumber=1549452&isnumber=33022>

[4] Myung J. Lee y Jianliang Zheng, "Emerging standards for Wireless Mesh Technology", City University of New York,

http://www.cs.siue.edu/wwhite/CS598_Dasyam/EmergingStandardsWirelessMesh.pdf

[5] Tomas Krag y Sebastian Büettrich, "Wireless Mesh Networking", Enero 2004, <http://www.oreillynet.com/pub/a/wireless/2004/01/22/wirelessmesh.html>

[6] Xudong Wang y Victor Bahl, "Wireless Mesh Networking: Theories, Protocols, and Systems", http://www.comsoc.org/pubs/pcm/mesh_cfp.htm

[7] "Wireless Mesh Technology", <http://mesh.nowwireless.com/technology.htm>

[8] "Mesh Networking", http://en.wikipedia.org/wiki/Mesh_networks

[9] Neil McManus, "A New Spin on the Wireless Web." Wired News, Agosto 2002.

[10] Intel Corporation, "Multi-Hop Mesh Networks- A New Kind of Wi-Fi Network."

CAPÍTULO 5. PROTOCOLO DE ENRUTAMIENTO AODV

[1] Pedro M. Ruiz, "Introducción y estado del arte en redes Ad-Hoc", Curso de doctorado, Febrero 2003

[2] "AODV-ST", <http://www.cs.ucsb.edu/~krishna/aodv-st/>

[3] Javier Treviño, "Redes Inalámbricas Malladas (AODV)", http://eslared.org.ve/walc2004/apc-aa/archivos/aa/1e60354f4717edb9fb793dbc5219499d/AODV_5.doc

[4] David B. Johnson y David A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks", Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers, 1996

[5] C. E. Perkins y E. M. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing", Proceedings of 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Febrero 1999

CAPÍTULO 6. ARQUITECTURA MESH

[1] Ashish Raniwala, "Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel Wireless Mesh Network", <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9990/32101/01498497.pdf?tp=&arnumber=1498497&isnumber=32101>

[2] "Performance Analysis of three competing Mesh Architectures", 2004, <http://www.meshdynamics.com/performance-analysis.html>

CAPÍTULO 7. CASO DE ESTUDIO

[1] Intel Corporation, "Designing and Deploying a Rural Ad-Hoc Community Mesh Network Testbed", <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10397/33047/01550954.pdf?tp=&arnumber=1550954&isnumber=33047>

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

[2] Elizabeth Hernández y Sara Morales, "Internet: una Posibilidad de Educación a Distancia", Enero 2004,
<http://www.cem.itesm.mx/dacs/publicaciones/logos/anteriores/n36/internet.html>

[3] J. Villate, "Internet y la pobreza", 1998, <http://cys.derecho.org/03/panos-2.html>

[4] Eva Martín y Juan F. Marcelo, "Wi-Fi público: en busca de modelos de negocio", Comunicaciones World, Alcatel España, Julio 2003

[5] Rosa María Megchun Alpizar, "Internet en Zonas Rurales", Diciembre 2001,
<http://hiper-textos.mty.itesm.mx/num3rosa.html>