

**ANÁLISIS DE POTENCIA EN LA TRANSMISIÓN DE DATOS SOBRE
TOPOLOGÍAS DINÁMICAS EN REDES AD HOC**

MARYAM ALEJANDRA CASTILLO

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2009 II**

**ANÁLISIS DE POTENCIA EN LA TRANSMISIÓN DE DATOS SOBRE
TOPOLOGÍAS DINÁMICAS EN REDES AD HOC**

**MARYAM ALEJANDRA CASTILLO
051017
MARYAMCASTI@IEEE.ORG**

MONOGRAFÍA DE GRADO

**ASESOR TÉCNICO
INGENIERO FREUD ABNER ROMERO TORRES
INVESTIGACIÓN DE SOLUCIONES EN REDES AD-HOC (ISRA)**

**FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN MARTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2009 II**

Nota de aceptación

Ing. Freud Abner Romero
Asesor

Ing. Ramsés Martínez
Jurado 1

Ing. Jorge Alberto Arévalo
Jurado 2

Bogotá y fecha (14, Diciembre, 2009)

"A Dios...por hacer más perfecto aquello en que creo.

"A mi Mami Luz Marina y mi Abuela Rosa... por la vida y ser modelos de mujer,
son el motivo esencial de mi vida.

"A mi hermanita Sophia... por ser mi alegría y orgullo.

"A mi Tío Omar... Por su apoyo incondicional.

"A mi Tía Aura... Por su disciplina.

"A mi Tía Martha... Por enseñarme a leer.

"A mi Tía Amparo... Por su voluntad para brindar siempre lo mejor de si.

"Tío Armando... Por el emprendimiento.

"Amanda... Por su formación.

"A mis primos, Cata, David, Caro, Claudia, Andrés, Santi y Julián... Por una
generación de alegrías para nuestra familia.

"A mis Profesores... Por su formación académica.

"A mis amigos, Eliana... por los buenos momentos compartidos en la universidad.

"A Diego... por su apoyo incondicional e incentivar el amor hacia mi profesión.

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía
atómica: la voluntad."

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS

A Dios creador del universo y dueño de mi vida que me permite construir otros mundos mentales posibles.

A mi madre y mi tío, Luz Marina y Omar por el apoyo incondicional que me dieron a lo largo de mi carrera.

A mi tía Aura por enseñarme que no hay límites, que lo que me proponga lo puedo lograr y que solo depende de mí.

A mis profesores Ing. Diego Díaz, Ing. Jorge Arévalo e Ing. Freud Torres de la Universidad, por su apoyo y colaboración para la realización de esta investigación quien por medio de las discusiones y preguntas, me hacen crecer en conocimiento.

A todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4. MARCO REFERENCIAL	20
4.1 ANTECEDENTES	20
4.2 MARCO CONCEPTUAL	22
4.2.1 Clasificación de redes inalámbricas	22
4.2.2 Redes inalámbricas 802.11	23
4.2.3 Topología y Modos de funcionamiento de los dispositivos	24
4.2.4 Modo infraestructura	25
4.2.5 Tecnología de Acceso (Glisic 2009)	25
4.2.6 Punto de Acceso	26
4.2.7 Alianza WiFi	27
4.3 MARCO TEÓRICO	29
4.3.1 Modos de funcionamiento WiFi – 802.11	29

4.3.2	Potencia de Radio	30
4.3.3	Características Redes Ad Hoc	30
4.3.4	Aplicaciones de Redes Ad Hoc	33
4.3.5	Características de operación para redes Ad Hoc	34
4.3.6	Protocolos existentes para Ad Hoc	35
4.3.7	Encaminamiento en Redes Ad Hoc	37
4.4	ESTADO DEL ARTE	39
4.4.1	Ad Hoc como Tecnología de Soporte	39
4.4.2	Redes Inalámbricas de Sensores	39
4.4.3	Detección de Intrusos y seguridad en redes móviles Ad Hoc	39
4.4.4	Encaminamiento multihop con QoS	40
4.4.5	Soluciones escalables de baja sobrecarga basadas en Proxies	40
4.4.6	Redes Móbiles Ad Hoc con vista a 4G	40
4.4.7	Simulación y modelado de redes móviles Ad Hoc	41
4.4.8	Auto-Organización y cooperación en redes Ad Hoc	41
4.5	LIMITACIONES Y ALCANCES	42
5.	DISEÑO METODOLÓGICO	43
6.	DESARROLLO	44
6.1	802.11b en modo ad hoc	44
6.1.1	Cobertura	45

6.1.2	Esquema de modulación	47
6.1.3	Estructura del paquete (Instruments 2003)	48
6.1.4	Análisis del control de acceso al medio (MAC)	50
6.1.5	Modelos para la potencia de transmisión	52
6.1.6	Potencia en el Nodo (Communications 2004)	53
6.1.7	Topología Dinámica	56
6.1.8	Colisiones	58
6.1.9	Escalabilidad	60
6.2	Estrategias para la conservación de la energía	61
6.2.1	Control eficiente de la topología para la potencia (Xiang-Yang Li 2009)	62
6.3	Diseño de los escenarios	69
6.3.1	Topología dinámica Homogénea	72
6.3.2	Topología dinámica no homogénea	74
6.3.3	Escalabilidad	76
6.3.4	Escenario para la solución a la limitación de potencia	78
7.	PRUEBAS Y RESULTADOS	80
7.1	Problemas que limitan la potencia de transmisión de datos	80
7.1.1	Problema seleccionado Conexión y desconexión	80
7.2	Resultados De Los Escenarios Diseñados	83
7.2.1	Resultados de la topología homogénea	83

7.2.2	Resultados de la topología No homogénea	90
7.2.3	Escalabilidad	97
7.3	Planteamiento a la solución de potencia	101
8.	CONCLUSIONES	109
9.	RECOMENDACIONES	111
	GLOSARIO	112
	BIBLIOGRAFÍA	115

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Características estándar 801.11a, b y g	24
Tabla 2 Aplicaciones de redes móviles Ad Hoc	34
Tabla 3 Velocidad de Transferencia, Estándar 802.11b	45
Tabla 5 Características del protocolo 802.11b	46
Tabla 6 Consumo de potencia en mW (V_{dd} 3V o 5V, I_{dd})	56
Tabla 7 Configuración de los parámetros de medición	69
Tabla 8 Problemas que limitan la potencia de transmisión de datos	80

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Cobertura de redes Inalámbricas	21
Figura 2 Infraestructura, con un solo punto de acceso	25
Figura 3 Conexiones Wireless simultáneas	27
Figura 4 Alianza de certificación WiFi	27
Figura 5 Bandas Inalámbricas	29
Figura 6 Modelo de una red Ad Hoc	31
Figura 7 Esquema Red Ad Hoc-Multihop	32
Figura 8 Clasificación de protocolos para Ad Hoc	36
Figura 9 Arquitectura 802.11b	44
Figura 10 Formato de trama 802.11b	45
Figura 11 Modelo del canal para 802.11	46
Figura 12 Consumo de potencia transmisión vs Rango	47
Figura 13 Encapsulación de paquetes 802.11b	48
Figura 14 Especificaciones del Modelo Físico	49
Figura 15 Acceso al medio	50
Figura 16 Diagrama de tramas en el control de acceso al medio	51
Figura 17 Paquetes de control	51
Figura 18 Entorno IBSS, control de la trama 802.11b	52
Figura 19 Potencia total de la plataforma	54
Figura 20 Esquema de una tarjeta de red	55
Figura 21 Nodo en modo Activo	56
Figura 22 Topología Dinámica	57
Figura 23 El tráfico de red IEEE, modelo de tamaño de paquete	58
Figura 24 Definiciones de RNG, GG, YG	67
Figura 25 Programación de tramas de control	70
Figura 26 Diseño de movilidad de los nodos móviles	71
Figura 27 Diseño de escenarios en redes móviles Ad Hoc	71
Figura 28 Escenario 1 para topología homogénea	72

Figura 29 Escenario de movilidad y posiciones de los nodos	73
Figura 30 Todos los nodos comparten rango de cobertura	73
Figura 31 Escenario 2 para la topología no homogénea	74
Figura 32 Nodo 1 y 3 con menor rango de cobertura	75
Figura 33 Los nodos 1,2 y 4 comparten su área de transmisión	75
Figura 34 Análisis de Escalabilidad	76
Figura 35 Escenario de escalabilidad, con 8 dispositivos dentro del entorno	77
Figura 36 Escenario de escalabilidad, para 10 nodos dentro del entorno	77
Figura 37 Autoconfiguración de la topología	78
Figura 38 Diagrama de flujo para escenario de la solución de potencia	79
Figura 39 Prueba de envío de paquetes RTS-(requerimiento de un envío)	81
Figura 40 Prueba de envío de paquetes ACK (Acknowledgement)	82
Figura 41 Prueba de un paquete enviado fuera de rango de cobertura	82
Figura 42 Relación del consumo de potencia en la topología homogénea	84
Figura 43 Registro de distancias entre los nodos y estados de conexión	85
Figura 44 Potencia instantánea del nodo 1 y potencia de las tramas de control	86
Figura 45 Potencia instantánea del nodo 2 y potencia de las tramas de control	87
Figura 46 Potencia instantánea del nodo 3 y potencia de las tramas de control	88
Figura 47 Potencia instantánea del nodo 4 y potencia de las tramas de control	89
Figura 48 Relación del consumo de potencia en la topología No homogénea	91
Figura 49 Registro de distancias entre los nodos y estados de conexión	92
Figura 50 Potencia instantánea del nodo 1 y potencia de las tramas de Control	93
Figura 51 Potencia instantánea del nodo 2 y potencia de las tramas de control	94
Figura 52 Potencia instantánea del nodo 2 y potencia de las tramas de control	95
Figura 53 Potencia instantánea del nodo 4 y potencia de las tramas de control	96
Figura 54 Prueba del rendimiento de la red para escalabilidad	98
Figura 55 Prueba del rendimiento de la red en tiempo para escalabilidad	99
Figura 56 Comportamiento de la red con múltiples hops	99
Figura 57 Potencia para las tramas de control y las tramas de datos	100
Figura 58 Rutas de nodos con su coste para el estado1	102
Figura 59 Rutas de nodos con su coste para un estado2	102

Figura 60 Estados del nodo en grafos	102
Figura 61 Solución a la limitación de potencia	103
Figura 62 Relación del consumo de potencia en la solución	103
Figura 63 Registro de distancias entre los nodos y estados de conexión	104
Figura 64 Potencia instantánea del nodo 1 y potencia de las tramas de Control	105
Figura 65 Potencia instantánea del nodo 2 y potencia de las tramas de control	106
Figura 66 Potencia instantánea del nodo 3 y potencia de las tramas de control	107
Figura 67 Potencia instantánea del nodo 4 y potencia de las tramas de control	108
Figura 68 Interfaz Matlab	119
Figura 69. Estructura de módulos en OMNeT	124
Figura 70 Interfaz OMNet	125

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO 1 LICENCIA DEL SOFTWARE	119
ANEXO 2-OMNeT++, Modelado de Sistemas Complejos	124

RESUMEN

El control de la topología en redes Ad Hoc es el problema de ajuste de la potencia de transmisión a los nodos de la red para lograr obtener mayor rendimiento de las baterías que los alimentan. Cuando la topología se encuentra en constante cambio la eficiencia de la comunicación deja de depender de los algoritmos de control.

A pesar de los enormes avances en cuanto eficiencia en el uso de potencia del hardware, las tarjetas de red inalámbricas que trabajan con 802.11b continúan consumiendo significativas cantidades de potencia, una tarjeta de red típica consume 40 mW en modo sleep y 1540 mW cuando está en idle.

En este trabajo se expone como la topología de la red afecta estos modos de operación y su impacto en el consumo de potencia del nodo, además analiza como los cambios constantes de modos de operación afectan el consumo general de potencia de la red.

Además se plantean tres escenarios donde se muestra el efecto de la movilidad y de la topología sobre la potencia de transmisión y sobre el consumo de potencia del nodo.

En el primero se muestra un escenario donde se plantea una topología de nodos homogéneos con mínimas conexiones dentro de un ambiente indoor, sobre este escenario se observan los cambios de modos de operación de los nodos por el efecto de la movilidad que es característica de la red Ad Hoc y se realiza el análisis de potencia que consume cada nodo debido a cada modo de operación.

Para el segundo escenario se introduce el efecto que tiene el área de cubrimiento del nodo sobre el desempeño en potencia de transmisión y el efecto de la conectividad en la red.

En el tercer escenario se muestra un ambiente más real donde se analiza el efecto del crecimiento de la red sobre la potencia que consumen los nodos, y como el crecimiento afecta la potencia en la transmisión de datos.

Por último se usan los datos recogidos para proponer una posible solución al problema de la topología estabilizando la variación de la distancia entre los nodos asignando un nodo principal estático con mayor peso, y se analiza el efecto de esto sobre la potencia consumida por los nodos

INTRODUCCIÓN

Redes móviles Ad Hoc plantean varios problemas técnicos y de investigación que es necesario deben abordarse, en esta investigación se examina la potencia de transmisión y sus limitantes.

Las redes Ad Hoc tienen muchos beneficios, como la auto-reconfiguración y adaptación a los móviles con características muy variables tales como la energía, la transmisión y balanceo de carga. Estos suponen nuevos retos a los que residen principalmente en la imprevisibilidad de la topología de red debido a la movilidad de los nodos, que, junto con la capacidad de difusión local, provoca una de las principales causas de la limitación de potencia de transmisión.

Estas redes están formadas únicamente por terminales móviles que funcionan a partir de baterías, es decir, no hay estaciones base. El consumo de energía es, por lo tanto, un punto muy importante a la hora de diseñar la red. Ya que del recurso de las baterías depende el tiempo de vida del enlace y si la potencia de transmisión es elevada estas se agotan a mayor velocidad.

Este proyecto realiza un análisis de la topología dinámica, donde el consumo de energía debería ser distribuido de forma equitativa entre el conjunto de nodos que la forman, y a la vez ha de minimizarse el consumo total de energía para cada transmisión. Se soporta una posible solución bajo el análisis de algoritmos eficientes para la energía, donde se consideran dispositivos bajo el estándar 802.11b, Teniendo en cuenta la batería y las rutas de enlace entre los nodos de la red, se propone viables métricas al respecto. Dichas métricas y los problemas de limitación se comparan mediante simulación de escenarios de prueba, seleccionando tres limitantes para su análisis y crear la formulación de un problema.

Recientemente, el control de potencia en las redes móviles Ad Hoc ha sido el centro de una extensa investigación. Sus principales objetivos son la reducción de la energía total consumida en la entrega de paquetes y/o aumentar el rendimiento de la red mediante el aumento de la reutilización del espacio de canal. En este trabajo, se da una visión de una posible solución a la limitación de potencia por medio del control de la topología y se discuten los factores que influyen en la limitación de potencia de transmisión, incluidos entre la ruta (red) y el control de acceso al medio (MAC).

1. PROBLEMA

Las redes Ad Hoc están superando limitaciones tecnológicas y técnicas para ser consideradas de uso general y así brindar un escenario de conectividad, movilidad total y global entre dispositivos totalmente autónomos. Es así como esta investigación desea hacer un aporte al problema de limitación de potencia entre nodos que presentan las redes.

Siempre que el usuario no identifique el tipo de red que está usando en un momento determinado se desaprovecha su potencial ya que este varía según su rango y aplicación. Este proyecto analizará la potencia de transmisión entre los nodos de la red, donde las redes Ad Hoc actúan en un entorno altamente dinámico y cuyos enlaces de comunicación inalámbricos requieren un control de potencia de transmisión en sus nodos; así que es necesario que existan mecanismos en el análisis de acceso, y cambios dinámicos de topologías que hagan adecuado el consumo de potencia de operación, haciendo que el rendimiento e estas sea el adecuado.

La movilidad de los nodos, escalabilidad, inestabilidad de la topología, falta de organización preestablecida y funcionamiento de las comunicaciones inalámbricas en redes Ad Hoc hacen posible una sobrecarga excesiva reduciendo el desempeño, y en este tipo de redes no se puedan utilizar los algoritmos de encaminamiento desarrollados para redes fijas. El uso de los medios cableados tradicionales presenta los problemas bien conocidos de optimización del ancho de banda, acceso múltiple, control de potencia, capacidad variable de canal y seguridad. A este conjunto de restricciones se le añade el carácter dinámico de los nodos, que genera constantes modificaciones en la topología de la red.

Para lograr que la información que se intercambia entre los nodos sea la correcta, ello potencialmente deberá presentar un modelo más dependiente y más eficaz en garantía de la adecuada potencia de transmisión.

Este proyecto genera respuestas a las siguientes preguntas: ¿Qué problemas afectan la limitación de potencia de transmisión de datos en las redes ad hoc?, ¿cual problema tiene mayor importancia para a analizar en el proyecto, y por qué?, ¿Cómo se realiza el análisis de potencia entre nodos?, ¿Cómo la topología dinámica influye en la limitación de potencia?, ¿en qué escenarios se logra identificar la limitación de potencia? Y ¿Qué solución se plantea?

La necesidad de un buen manejo de recursos en las redes Ad Hoc se enfrenta en este análisis a la potencia de transmisión en los nodos de la red, siendo este uno de los requerimientos para su viable funcionalidad y calidad de servicio.

2. JUSTIFICACIÓN

El auge en las telecomunicaciones inalámbricas de las últimas décadas unidos a la explotación de la movilidad que ofrecen los dispositivos portátiles y que requieren los usuarios de hoy día, ha permitido que se presente un nuevo escenario de operación, el enmarcado dentro de lo que se conoce como Redes Ad Hoc. Estas redes nacen bajo el concepto de autonomía e independencia, al no requerir el uso de infraestructura pre-existente ni la necesidad de soportar su administración en esquemas centralizados como lo hacen las redes actuales, entre otras de sus características. Por supuesto los retos técnicos y funcionales que deben afrontar estas redes son aun muchos.

Este proyecto de investigación propone desarrollar una idea en el campo de redes Ad Hoc, que permita determinar la viabilidad de una propuesta, con respecto a la potencia de operación en la red.

Las Redes Ad Hoc ofrecen altas velocidades de transmisión a bajo costo y permiten integrar varios dispositivos inalámbricos. Generan respuesta a las exigencias actuales referentes al establecimiento de redes que cubran necesidades de comunicación de forma flexible en tiempo y espacio, con autonomía, auto configuración e independencia de una estructura fija. Estas características suponen importantes análisis que obligan a desarrollar propuestas, capaces de superar las restricciones impuestas por la variabilidad en la topología que se presenta en la red, las cuales afectan la potencia de transmisión.

Las redes Ad Hoc hacen necesarios nuevos esquemas en los que esté conformada por dispositivos que abarquen la tecnología inalámbrica, que actúen por tanto como nodos sin infraestructura externa y fija y con una adecuada potencia de distribución, y cuyo despliegue sea sencillo y de bajo costo.

Existe un interés por parte de la autora de esta investigación ya que se vislumbra una clara proyección de las Redes Ad Hoc móviles en las telecomunicaciones. Asimismo haciendo importante el enfoque de este proyecto con la realización de un análisis medible, y confiable; beneficiando la investigación, proyección y expectativas en el grupo de interés ISRA (investigación para soluciones en redes Ad Hoc).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar, sustentar y compilar cómo las topologías dinámicas afectan la potencia de transmisión de datos en redes Ad Hoc.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los problemas que limitan la potencia de transferencia en redes Ad Hoc.
- Diseñar tres escenarios de prueba, para representar el problema seleccionado.
- Simular los escenarios diseñados para observar el rendimiento de la potencia de transmisión.
- Proponer una solución a la limitación de potencia de operación a partir del análisis que se recoge.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 ANTECEDENTES

Bajo una perspectiva tradicional, una red de comunicaciones puede concebirse como un conjunto de dispositivos que ofrecen servicios de comunicación a diferentes usuarios. De esta forma, el conjunto de parámetros que deben ser considerados para su diseño, operación y consecución de los niveles de calidad exigidos, se restringe al ámbito interno de la misma, limitando el papel de los usuarios a un único acceso a la red bajo ciertas condiciones impuestas.

Desde la introducción de la computadora personal en 1970, las telecomunicaciones han encontrado más aplicaciones tecnológicas en el lugar de trabajo; Similarmente como ha ocurrido con muchos de los desarrollos en este campo, las Redes Móviles Ad Hoc nacieron de una necesidad militar, la de interconectar efectivamente las diferentes unidades tácticas desplegadas en zonas de conflicto, sin requerir la presencia de una red fija o de backbone. Las primeras experiencias en este campo se deben a la búsqueda de proyectos de Investigación (DARPA) que desarrollo durante la década de los 70 la llamada Red de Paquetes radio (Packet Radio Network) para comunicaciones entre vehículos en movimiento. (Stallings 2000).

Se reclamo en un principio movilidad, mas tarde diversidad de medios y contenidos y por ultimo libertad para el establecimiento de sus propias redes que atiendan necesidades concretas en tiempo y espacio. Es ahí cuando se presenta el auge de las redes inalámbricas las cuales se han convertido últimamente en elementos de gran importancia en la comunicación de usuarios que intercambian información. Desde redes para acceso de usuarios a Internet hasta redes corporativas que permiten la movilidad de los usuarios de una empresa; las redes inalámbricas se han vuelto cada vez una mejor alternativa en el despliegue de redes de datos de forma rápida y eficiente.

Las redes inalámbricas LAN (Red de Área Local) han estado limitadas por segmentos de cable, con el avance se ha utilizado infrarrojo y radio frecuencia; surgiendo las WLANS (Red de Área Local Inalámbrica), aunque estos dos tipos de redes provienen de conectividad entre usuarios, las diferencia su topología y estructura interna. Las WLAN requieren de una infraestructura física preestablecida y de unos mecanismos centralizados para efectuar parte de sus operaciones y procesos de comunicación; utilizan puntos de acceso predeterminados para permitir que sus usuarios móviles se puedan interconectar a la red principal, y obtener así los servicios que requieren; y regularmente las comunicaciones entre los dispositivos de los usuarios móviles y su punto de acceso se realiza en un solo salto radioeléctrico, además que la topología de la

red de soporte es naturaleza estática, lo cual facilita en cierta medida los procesos operacionales de dicha red. Desde hace relativamente poco tiempo, se está viviendo lo que puede significar un revolución en el uso de las tecnologías de la información tal y como lo conocemos. Esta revolución puede llegar a tener una importancia similar a la que tuvo la adopción de Internet. Las redes inalámbricas o Wireless Networks, se están introduciendo en el mercado de consumo gracias a unos precios populares y a un conjunto de entusiastas, mayoritariamente particulares, que han visto las enormes posibilidades de esta tecnología.

En la figura 1 se observa que el crecimiento de las redes inalámbricas en los últimos años nos asiste a una vasta proliferación de tecnologías tales como BlueTooth, WiMAX, Zeegbee, y demás dispositivos basados en el estándar IEEE 802.11 (Wi-Fi) y nuevas tecnologías que están apareciendo. Se ha visto grandes avances en infraestructuras de red, la creciente disponibilidad de aplicaciones inalámbricas, y la aparición de omnipresente dispositivos inalámbricos, como portátiles, PDAs, y teléfonos móviles, todos cada vez con capacidades más eficientes. Estos dispositivos de hoy en día juegan un papel cada vez cada vez más importante en la vida cotidiana. Para mencionar sólo algunos ejemplos, los usuarios móviles pueden confiar en su teléfono celular para consultar el correo electrónico y navegar internet, las personas que van de viaje con ordenadores portátiles pueden navegar por Internet desde los aeropuertos, los ferrocarriles las estaciones, los cafés, y otros lugares públicos, los turistas pueden utilizar los terminales GPS instalado en el interior los coches para ver mapas de conducción y localizar lugares de interés turístico, archivos u otra información pueden ser cambiados por la conexión de ordenadores portátiles a través de redes LAN inalámbricas mientras asistía a conferencias; y en el hogar, una familia pueden sincronizar los datos y la transferencia de archivos entre el dispositivos portátiles y de sobremesa. (Basagni 2004)

Figura 1 Cobertura de redes Inalámbricas



(Kioskea, 2009)

4.2 MARCO CONCEPTUAL

Las redes locales inalámbricas más que una sustitución de las LANs convencionales son una extensión de las mismas, ya que permite el intercambio de información entre los distintos medios en una forma transparente al usuario. En este sentido el objetivo fundamental de las redes WLAN es el de proporcionar las facilidades no disponibles en los sistemas cableados y formar una red total donde coexistan los dos tipos de sistemas, enlazando los diferentes equipos o terminales móviles asociados a la red.

Las redes inalámbricas, WLAN o Wireless como son más conocidas, son redes creadas por la necesidad de aumentar la movilidad en los diversos lugares de trabajo, y optimizar los costos de instalación; Lo que proporciona una gran conectividad.

El atractivo fundamental de este tipo de redes es la facilidad de instalación y el ahorro que supone la supresión del medio de transmisión cableado. Aún así sus prestaciones son menores en lo referente a la velocidad de transmisión que se sitúa entre los 2 y los 10 Mbps frente a los 10 y hasta los 100 Mbps ofrecidos por una red convencional.

Gracias a esta tecnología, conseguimos que los usuarios sean completamente autónomos y sobre todo móviles, ya que no existen cables que nos obliguen a permanecer conectados físicamente a la red. Sustituyendo cables coaxiales o fibra óptica. Surgen como una opción dentro de la corriente hacia la movilidad universal en base a una filosofía sin discontinuidades, es decir, que permita el paso a través de diferentes entornos de una manera transparente, Para ser considerada como WLAN, la red tiene que tener una velocidad de transmisión de tipo medio (el mínimo establecido por el IEEE 802.11 es de 1 Mbps, aunque las actuales tienen una velocidad del orden de 2 Mbps), y además deben trabajar en el entorno de frecuencias de 2,45 GHz.

4.2.1 Clasificación de redes inalámbricas

Dentro del ámbito de estas redes podemos integrar a tres principales redes inalámbricas:

- Redes inalámbricas personales

Las redes que se usan actualmente mediante el intercambio de información por infrarrojos. Estas redes son muy limitadas dado su poco alcance, necesidad de visión sin obstáculos entre los dispositivos que se comunican y su baja velocidad

(hasta 115 kbps). Se encuentran principalmente en ordenadores portátiles, PDAs (Agendas electrónicas personales), Teléfonos móviles.

- En segundo lugar el Bluetooth, estándar de comunicación entre pequeños dispositivos de uso personal, como pueden ser los PDAs, teléfonos móviles de nueva generación y algún que otro ordenador portátil. Su principal desventaja es que su puesta en marcha se ha ido retrasando desde hace años y la aparición del mismo ha ido plagada de diferencias e incompatibilidades entre los dispositivos de comunicación de los distintos fabricantes que ha imposibilitado su rápida adopción.
- Redes inalámbricas de consumo

Redes CDMA y GSM. Son los estándares que usa la telefonía móvil empleados alrededor de todo el mundo en sus diferentes variantes. 802.16 son redes que pretenden complementar a las anteriores estableciendo redes inalámbricas metropolitanas (MAN) en la banda de entre los 2 y los 11 GHz.

4.2.2 Redes inalámbricas 802.11

Estas son las redes que van a estar dentro del ámbito de nuestro estudio y a las que vamos a dedicar la mayor parte del presente documento.

La IEEE definió el primer estándar, IEEE 802.11, para la regulación de las redes de área local inalámbricas. Este estándar proporciona tasas de transmisión entre 1 y 2 Mbps, en la banda de los 2,4 GHz, y soporta diferentes medios de transmisión: por infrarrojos y radiofrecuencia. En este último caso se tiene dos tipos de transmisiones por espectro ensanchado: Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) y Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS). Desde su nacimiento, dicho estándar ha evolucionado dando lugar a diferentes estándares. Por un lado se encuentra el IEEE 802.11b, que permite tasas de transmisión de 1, 2, 5,5 y 11 Mbps en la misma banda de frecuencias, utilizando radiofrecuencia con tecnología DSSS.

Este estándar 802.11 describe las normas a seguir por cualquier fabricante de dispositivos wireless para que puedan ser compatibles entre sí. Cada uno de los 14 canales asignados al IEEE 802.11 tiene un ancho de banda de 22 Mhz, y la gama de frecuencias disponible va de los 2.412 GHz hasta los 2.484 GHz; en la tabla 1, observamos la comparación de tres estándar.

Tabla 1 Características estándar 801.11a, b y g

Estándar	802.11b	802.11a	802.11g	
Banda de frecuencia	2.4 GHz	5GHz	2.4GHz	
Numero de canales	3	Arriba de 23	3	
Transmisión	Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)	Direct Sequence Spread Spectrum DSSS	Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
Tarifa de datos en Mbps	1, 2, 5.5, 11	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	1, 2, 5.5, 11	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54

(Cisco 2007)

- IEEE802.11a: hasta 54 Mbps (megabits por segundo) de ancho de banda disponible, trabajando en la frecuencia de 5GHz.
- IEEE802.11b: hasta 11 Mbps. Este es el más usual y el más utilizado, trabajando en la frecuencia de 2,4GHz.
- IEEE802.11g: hasta 54 Mbps, trabajando en la frecuencia de 2,4 GHz como 802.11a.

4.2.3 Topología y Modos de funcionamiento de los dispositivos

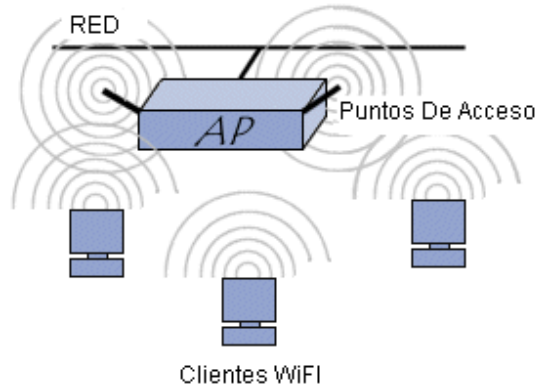
Es conveniente el hacer una división entre la topología y el modo de funcionamiento de los dispositivos WiFi. Con topología nos referimos a la disposición lógica (aunque la disposición física también se pueda ver influida) de los dispositivos, mientras que el modo de funcionamiento de los mismos es el modo de actuación de cada dispositivo dentro de la topología escogida.

- Topología en Ad-Hoc. Cada dispositivo se puede comunicar con todos los demás. Cada nodo forma parte de una red punto a punto o de igual a igual, para lo cual sólo vamos a necesitar el disponer de un SSID igual para todos los nodos y no sobrepasar un número razonable de dispositivos que hagan bajar el rendimiento. A más dispersión geográfica de cada nodo más dispositivos pueden formar parte de la red, aunque algunos no lleguen a verse entre sí.

- Topología en Infraestructura, en el cual existe un nodo central (Punto de Acceso WiFi) que sirve de enlace para todos los demás (Tarjetas de Red Wifi). Este nodo sirve para encaminar las tramas hacia una red convencional o hacia otras redes distintas. Para poder establecerse la comunicación, todos los nodos deben estar dentro de la zona de cobertura del AP.

4.2.4 Modo infraestructura

Figura 2 Infraestructura, con un solo punto de acceso



(Luzuriaga 2007)

En el modo de infraestructura, cada estación informática se conecta a un punto de acceso a través de un enlace inalámbrico. La configuración formada por el punto de acceso y las estaciones ubicadas dentro del área de cobertura se llama conjunto de servicio básico o BSS. Estos forman una célula. Cada BSS se identifica a través de un BSSID (identificador de BSS) que es un identificador de 6 bytes (48 bits). En el modo infraestructura el BSSID corresponde al punto de acceso de la dirección MAC. (Luzuriaga 2007)

Es posible vincular varios puntos de acceso juntos varios BSS, con una conexión llamada sistema de distribución (o SD) para formar un conjunto de servicio extendido o ESS. El sistema de distribución también puede ser una red conectada, un cable entre dos puntos de acceso o incluso una red inalámbrica.

4.2.5 Tecnología de Acceso (Glisic 2009)

Dependiendo de la norma específica, la frecuencia y la el uso del espectro, las redes inalámbricas pueden clasificarse basándose en la tecnología de acceso utilizada. Estos incluyen:

- Redes GSM networks

- Redes TDMA networks
- Redes CDMA networks
- Redes Satelitales
- Redes Wi-Fi (802.11)
- Redes Hiperlan2
- Redes Bluetooth
- Redes Infrarrojo

Un ESS se identifica a través de un ESSID (identificador del conjunto de servicio extendido), que es un identificador de 32 caracteres en formato ASCII que actúa como su nombre en la red. El ESSID, a menudo abreviado SSID, muestra el nombre de la red y de alguna manera representa una medida de seguridad de primer nivel ya que una estación debe saber el SSID para conectarse a la red extendida. Cuando un usuario va desde un BSS a otro mientras se mueve dentro del ESS, el adaptador de la red inalámbrica de su equipo puede cambiarse de punto de acceso, según la calidad de la señal que reciba desde distintos puntos de acceso. Los puntos de acceso se comunican entre sí a través de un sistema de distribución con el fin de intercambiar información sobre las estaciones y, si es necesario, para transmitir datos desde estaciones móviles. Esta característica que permite a las estaciones moverse. (Luzuriaga 2007)

4.2.6 Punto de Acceso

Cuando una estación se une a una célula, envía una solicitud de sondeo a cada canal. Esta solicitud contiene el ESSID que la célula está configurada para usar y también el volumen de tráfico que su adaptador inalámbrico puede admitir. Si no se establece ningún ESSID, la estación escucha a la red para encontrar un SSID.

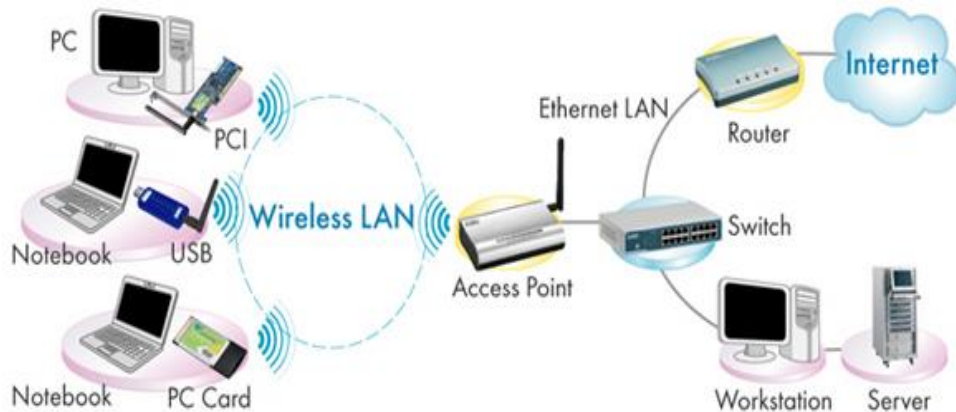
Cada punto de acceso transmite una señal en intervalos regulares (diez veces por segundo aproximadamente). Esta señal, que se llama señalización, provee información de su BSSID, sus características y su ESSID, si corresponde. El ESSID se transmite automáticamente en forma predeterminada, pero se recomienda que si es posible se deshabilite esta opción.

Cuando se recibe una solicitud de sondeo, el punto de acceso verifica el ESSID y la solicitud del volumen de tráfico encontrado en la señalización. Si el ESSID dado concuerda con el del punto de acceso, éste envía una respuesta con datos de sincronización e información sobre su carga de tráfico. Así, la estación que recibe la respuesta puede verificar la calidad de la señal que envía el punto de acceso para determinar cuán lejos está. En términos generales, mientras más cerca un punto de acceso esté, más grande será su capacidad de transferencia de datos.

Por lo tanto, una estación dentro del rango de muchos puntos de acceso (que tengan el mismo SSID) puede elegir el punto que ofrezca la mejor proporción entre capacidad de carga de tráfico y carga de tráfico actual.(Subir Kumar Sarkar 2007).

En la figura 3 se muestra el esquema de dispositivos interconectados en una red con infraestructura previamente establecida. Es así como el costo de instalación y mantenimiento de una WLAN generalmente es más bajo que el costo de instalación y mantenimiento de una red cableada tradicional y resulta más beneficiosa a largo plazo. Hay 2 características que las WLAN presentan, por un lado la flexibilidad, ya que permite llegar donde el cable no puede y escalabilidad, puesto que un cambio en la topología de red sería sencillo, siendo igual para redes grandes y pequeñas. Las redes inalámbricas basadas en infraestructura Preestablecida se basan en conexiones de un salto a una red que emplea el cableado, como Internet. Entre las redes inalámbricas actuales basadas en el modo infraestructura se encuentran: las redes celulares, wireless LAN y los sistemas satelitales.

Figura 3 Conexiones Wireless simultáneas



(Luzuriaga 2007)

Como se observa en la figura 4, es necesario utilizar una unidad base o pasarela inalámbrica que, por un lado, se conecte sin cables con los equipos nuevos y que, por otro, disponga de una tarjeta de red convencional para conectarse al equipamiento antiguo.

4.2.7 Alianza WiFi

Figura 4 Alianza de certificación WiFi



(WiFi 2009)

Al definirse el protocolo 802.11, la alianza Wi-Fi ofrece la certificación de interoperabilidad de productos con este estándar, haciendo así más diversa la conectividad y el mercado tecnológico que esté ligado con este. La Alianza Wi-Fi es una organización global y sin fines de lucro constituida en 1999, que ha facilitado el acercamiento entre los diferentes fabricantes para crear un estándar de referencia que permita la comunicación entre diferentes equipos suministrados por diversos fabricantes. Su producto está recogido en las normas IEEE 802.11.

Con Wi-Fi se pueden crear redes de área local inalámbricas de alta velocidad siempre y cuando el equipo que se vaya a conectar no esté muy alejado del punto de acceso. En la práctica, Wi-Fi admite ordenadores portátiles, equipos de escritorio, asistentes digitales personales (PDA) o cualquier otro tipo de dispositivo de alta velocidad con propiedades de conexión también de alta velocidad dentro de un radio.

Las redes carentes de infraestructura cableada para la comunicación derivó en las conocidas como Redes Ad Hoc; Esta expresión está contenida en el estándar 802.11 del instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), donde se contempla la configuración de operación independiente Ad Hoc de las estaciones en la capa de control de Acceso al Medio (MAC), de tal forma que sea posible la comunicación directa entre ellas, sus características principales son:

- **Movilidad:** las redes inalámbricas ofrecen acceso a la red local desde cualquier sitio dentro de su cobertura, incluso encontrándose en movimiento.
- **Fácil instalación:** más rapidez y simplicidad que lo que supone extender cables por un recinto.
- **Flexibilidad:** dado que es posible disponer de acceso a una red en entornos de difícil cableado.
- **Adaptabilidad:** Permite frecuentes cambios de la topología de la red y facilita su escalabilidad.
- **Ampliación:** nuevos usuarios a la red, sin la necesidad de extender un cable a su nuevo puesto de trabajo.
- **Organización:** Permite organizar redes en sitios cambiantes o ambientes no estables.

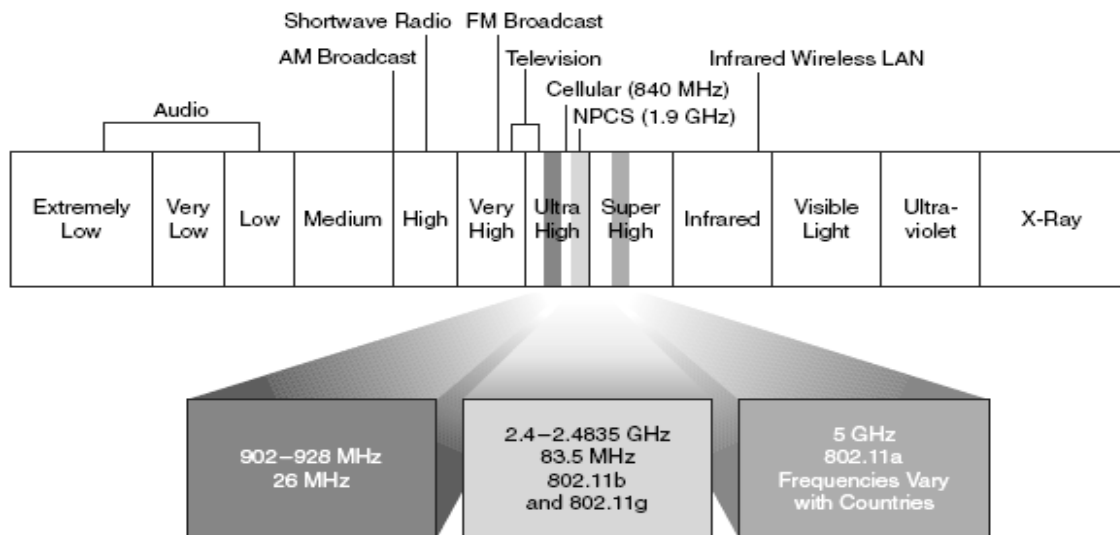
4.3 MARCO TEÓRICO

4.3.1 Modos de funcionamiento WiFi – 802.11

Existen varias clases de hardware que se pueden utilizar para implementar una red inalámbrica WiFi:

Los adaptadores inalámbricos o controladores de la interfaz de red son tarjetas de red que cumplen con el estándar 802.11 que le permiten a un equipo conectarse a una red inalámbrica. Los adaptadores inalámbricos están disponibles en diversos formatos, como tarjetas PCI, tarjetas PCMCIA, adaptadores USB y tarjetas Compact Flash. Una estación es cualquier dispositivo que tenga este tipo de tarjeta. Los puntos de acceso pueden permitirles a las estaciones equipadas con WiFi cercanas acceder a una red conectada a la que el punto de acceso se conecta directamente. La figura 5, muestra el dominio de frecuencia para las bandas inalámbricas.

Figura 5 Bandas Inalámbricas



(Cisco 2007)

Según el estándar que se elige, se dispone principalmente de dos tipos de dispositivos:

- Dispositivos Tarjetas de red, son las que están integradas en el ordenador, o bien conectados mediante un conector PCMCIA ó USB si estamos en un portátil o en un slot PCI si estamos en un ordenador de sobremesa. substituyen a las tarjetas de red Ethernet o Token Ring a las que estábamos acostumbrados. Recibirán y enviarán la información hacia su

destino desde el ordenador en el que estemos trabajando. La velocidad de transmisión / recepción de los mismos es variable dependiendo del fabricante y de los estándares que cumpla.

- Dispositivos Puntos de Acceso, los cuales serán los encargados de recibir la información de las diferentes transmisiones de los que conste la red bien para su centralización y su encaminamiento. complementan a los Hubs, Switches o Routers, si bien los PAs pueden substituir a los últimos pues muchos de ellos ya incorporan su funcionalidad.

Para construir redes wireless existen dos alternativas, la primera de ellas consiste en usar infraestructura en este caso todos los nodos de la red dependen de un punto central llamado punto de acceso. La otra opción son las redes Ad Hoc, en este caso los nodos intercambian información directamente. Si el transmisor y el receptor no están dentro del rango de un solo hop los paquetes son enviados usando los nodos intermedios.

4.3.2 Potencia de Radio

La medida dBm es la potencia de radio expresada en dB referida a 1mW. La potencia máxima permitida de emisión para la banda ISM (2,4GHz) es de 100mW (20dB). Esta potencia de emisión es el resultado de sumar la potencia de salida de la tarjeta WIFI, con la ganancia de la antena y teniendo en cuenta las pérdidas del cable y conectores. Para convertir mW a dBm, tenemos que multiplicar por 10 el logaritmo de la potencia expresada en mW. La Potencia máxima legal de emisión está dada por:

$$10 \times \text{LogPotencia expresada en mW} = 20\text{dBm}$$

La potencia máxima legal de emisión es de 100mW o 20 dBm. La mayoría de los dispositivos wireless emiten en un rango de 20 a 50mW, Lo que quiere decir que podemos utilizar una antena de hasta 3 dBm máximo para estar dentro de la legalidad. La Potencia de dispositivos wireless está dada por:

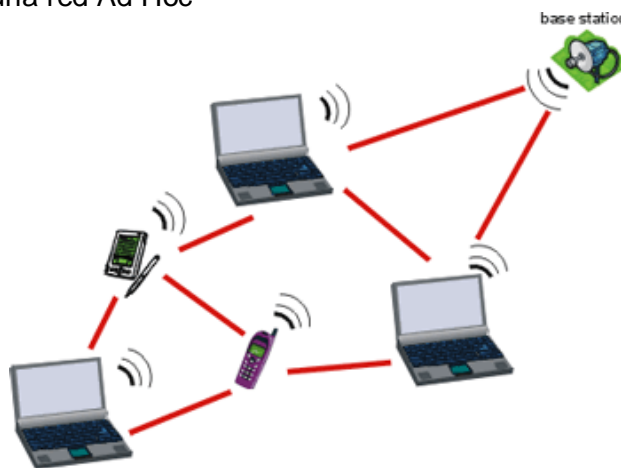
$$10 \times \text{Log}50\text{mW} = 17\text{dBm}$$

4.3.3 Características Redes Ad Hoc

El modo de operación Ad Hoc, son redes que tienen algunas características diferentes a las descritas para los ambientes anteriores y las hacen un caso especial de las comunicaciones inalámbricas. En este tipo de red, no se requiere contar con algún tipo de infraestructura física preexistente; no opera bajo

esquemas de control centralizado; su topología cambia de forma dinámica y de manera aleatoria; se conecta a los demás dispositivos de la red regularmente a través de múltiples hops radio eléctricos; Procura mejorar su escalabilidad para mantener una topología relativamente estable; La figura 6 muestra un esquema de los nodos que conforman una red Ad Hoc donde operaran como dispositivos finales (emisores o receptores de información) y/o como enrutadores, funcionando básicamente en un ambiente colaborativo de conectividad. Una red Ad Hoc, definida de manera amplia es un conjunto de nodos móviles, los cuales se unen voluntariamente formando una red entre ellos, sin la necesidad de ninguna entidad administrativa centralizada o soporte físico de red existente en su forma básica.

Figura 6 Modelo de una red Ad Hoc



(Fernandez 2008)

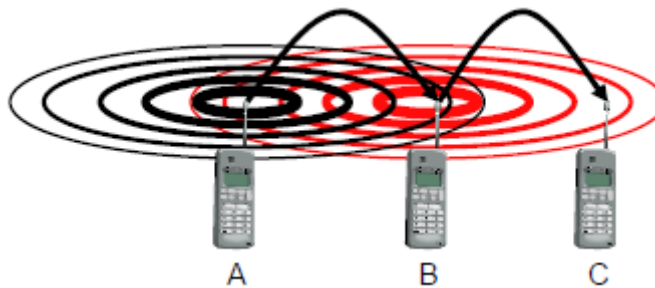
La provisión eficiente de comunicaciones multi-destino es una de las áreas que va a jugar un papel fundamental en las redes inalámbricas y Ad Hoc. Esto se debe a que la mayoría de las aplicaciones reales de este tipo de redes, requieren un gran nivel de colaboración entre terminales.

Esta descrito el modo Ad Hoc, en el estándar 802.11, como una conexión donde los equipos cliente inalámbricos se conectan entre sí para formar una red punto a punto, es decir, una red en la que cada equipo actúa como cliente y como punto de acceso simultáneamente. (WiFi 2009)

Las redes móviles Ad Hoc se han proyectado inicialmente para que operen en un ambiente de condiciones diferentes a las que presentan las redes convencionales y tienen por ello unas características que las diferencian de las demás. Las Redes Ad Hoc, se proyectan para operar donde se requiera de una comunicación rápida, despliegue inmediato y a bajo costo, estableciendo procesos de comunicación efectivos entre los diferentes elementos o unidades involucradas; con aplicaciones donde se necesite un intercambio efectivo de información entre sus usuarios.

Organizando redes de baja tasa y mínima complejidad, coste y consumo de potencia, enfrentando estas redes a grandes retos tecnológicos que superar para ofrecer los servicios requeridos, debido fundamentalmente a los aspectos de autónoma y dinamismo impuestos, así como al carácter inalámbrico de este tipo de redes. En primer lugar, el uso del canal radio frente a los medios cableados tradicionales presenta los problemas bien conocidos de optimización del ancho de banda disponible, Acceso múltiple, control de potencia, capacidad variable de canal y seguridad. A este conjunto de restricciones se le añade el carácter dinámico de los nodos, que genera constantes modificaciones en la topología de la red, lo que requiere el uso de nuevas técnicas para el mantenimiento y configuración de la misma. Por último, la ausencia de infraestructuras cableadas o inalámbricas que soporten las comunicaciones obliga a una operación limitada de potencia, que debe acudir a nuevas propuestas relativas al direccionamiento de los nodos y el transporte de los datos a través de la red, atendiendo a esquemas multisalto. (Hekmat 2008)

Figura 7 Esquema Red Ad Hoc-Multihop



(Hekmat 2008)

El modo Ad Hoc IEEE 802.11, sin estación PRnet, y los conceptos tales como la red de área personal (personal área network PAN) o la comunicación PAN a PAN se adaptan al dominio Ad Hoc.

Varias ventajas y desventajas pueden ser citadas al comparar las redes Ad Hoc con redes de infraestructura. (Cordeiro 2007)

- Ventajas
 - Rápida instalación: una vez que las redes Ad Hoc pueden ser establecidas dinámicamente en lugares donde no hay previamente una infraestructura de red instalada.
 - Tolerancia de fallas: permanente adaptación y reconfiguración de rutas en redes Ad Hoc permiten que las pérdidas de la conectividad

entre los nodos puedan ser fácilmente resueltas desde que una ruta pueda ser establecida.

- Conectividad: Los nodos móviles se pueden comunicar directamente desde que cada uno esté dentro del área de alcance del otro nodo.
- Movilidad: ventaja primordial frente a las redes con infraestructura.
- Desventajas
 - Enrutamiento: La movilidad de los nodos en una topología de red dinámica, contribuyen directamente para tomar construcción de algoritmos, que ayuden a solucionar el problema.
 - Localización de nodos: ya que la dirección de la maquina no tiene relación con la posición actual del nodo, no existe informes geográficos que auxilien la determinación de posicionamiento del nodo.
 - Tasa de errores: La tasa de errores asociada a enlaces inalámbricos es más elevada.

4.3.4 Aplicaciones de Redes Ad Hoc

El campo de las redes inalámbricas se desprende de la integración de la computación personal, tecnología celular y de Internet. Esto se debe al aumento de las interacciones entre la comunicación y la informática, la información que están cambiando de acceso "en cualquier momento en cualquier lugar" en "todo el tiempo, en todas partes". En la actualidad, un gran variedad de redes existente, que van desde la conocida infraestructura de celulares a redes inalámbricas Ad Hoc.

Una red Ad Hoc móvil también se puede utilizar para proporcionar servicios de gestión de crisis, como en la recuperación de desastres, ya que toda la infraestructura de comunicación se destruye rápidamente y el recurso de comunicación es crucial. Mediante el uso de una red móvil Ad Hoc, una estructura podría ser creada en horas en lugar de semanas, como se requiere en el caso de la línea de comunicación por cable. Otro ejemplo de aplicación de una red Ad Hoc móvil es la tecnología Bluetooth, que está diseñado para personal de apoyo red de área (PAN), al eliminar la necesidad de cables entre varios dispositivos, tales como impresoras y asistentes digitales personales. El protocolo IEEE 802.11

también apoya un sistema de red Ad Hoc, en ausencia de un punto de acceso. La tabla 2, muestra diferentes aplicaciones de las redes Ad Hoc.

Tabla 2 Aplicaciones de redes móviles Ad Hoc

Aplicaciones	Descripción de servicios
Redes Tácticas	comunicaciones militares, Campos de batalla automatizado
Redes de sensores	Colección de los dispositivos de sensor integrado utilizado para recoger datos en tiempo real a automatizar las funciones. Datos altamente correlacionados en tiempo y espacio, por ejemplo, sensores remotos para el clima, las actividades de la tierra
Servicios Emergencia	De búsqueda y las operaciones de rescate
Entornos comerciales	Por ejemplo, los pagos electrónicos desde cualquier lugar (es decir, en un taxi). Acceso dinámico a los ficheros de clientes almacenado en un lugar central. Servicios de vehículos: la transmisión de noticias, condiciones de las carreteras, el clima, la música de locales de red ad hoc con los vehículos cercanos por carretera y los accidentes de orientación
Redes Empresariales	Uso doméstico y profesional de la empresa o la oficina de redes inalámbricas (WLAN), por ejemplo, compartir una pizarra aplicación de red, el uso de PDA para imprimir en cualquier lugar, ferias comerciales de red de área personal (PAN)
Aplicaciones educativas	Establecer aulas virtuales salas de conferencias o establecido un sistema especial de comunicación durante las conferencias
Entretenimiento	Juegos multiusuario, Acceso outdoor internet
Ubicación Servicios	por ejemplo, el reenvío automático de llamadas, transmisión de los servicios de área de trabajo, servicios de información ,por ejemplo, anunciar la localización de servicios específicos, como estaciones de gasolina la localización o guía de viaje a cargo; servicios (impresora, fax, teléfono, estaciones de servidor de gas) la disponibilidad de la información; cachés, intermedio resultados, la información de estado, etc

(Jennifer Liu 2009)

4.3.5 Características de operación para redes Ad Hoc

- Interferencia en redes Ad Hoc

La interferencia en redes Ad Hoc es uno de los factores más significativos que limitan la capacidad y la escalabilidad de la red. Cuando el medio o canal es compartido la interferencia no puede evitarse pero si reducirse. Los protocolos de control de potencia ajustan la potencia de transmisión de los paquetes de tal forma que los rangos de transmisión sean los más pequeños posibles. De esta forma se

reduce la interferencia usando de nuevo el espacio disponible. Los protocolos de control de potencia mejoran el rendimiento de la red sin embargo estos valores mínimos de potencia pueden no ser los más adecuados. El objetivo es estudiar la interferencia y demostrar que existe una potencia de transmisión que produce el máximo rendimiento de la red.

- Operación en forma distribuida

El término distribuido hace referencia a que en una red Ad Hoc, normalmente los nodos tienen un conocimiento local sobre su entorno. Es decir, cada nodo solo conoce la información sobre los nodos vecinos que se encuentran dentro de su radio de transmisión y no tiene un conocimiento global de la red. [SCOTT2003a]

- Ancho de banda limitado

El ancho de banda disponible en las redes Ad Hoc es menor, comparado con el ancho de banda disponible en las redes de infraestructura preestablecida.

- Fluctuación de los enlaces

El efecto de una alta tasa de error de bits, es decir, la transmisión de información errada, es más significativo en una red móvil Ad Hoc de múltiples hops, ya que el agregado de todos los errores en los enlaces afecta significativamente la calidad de la información recibida. (Abolhasan 2004)

- Acceso al Medio

Un mecanismo de acceso al medio o canal que sea adecuado para disminuir el nivel de colisiones que se pueda dar entre las comunicaciones de los diferentes usuarios, que permita un acceso equitativo y justo entre ellos y contribuya a evitar los problemas de terminal oculto y los cambios rápidos de topología.

4.3.6 Protocolos existentes para Ad Hoc

La comunicación a través de redes heterogéneas constituye un campo de investigación con gran interés. Dentro de éste contexto, la investigación en redes móviles Ad Hoc es una de las áreas con un mayor potencial. Las redes Ad-hoc están constituidas por terminales inalámbricos que se comunican entre ellos, El interés de la comunidad científica en éste nuevo tipo de redes, que implican implícitamente la existencia de routers móviles, es considerable y creciente. Se puede esperar que las redes Ad Hoc empiecen a proliferar a medio plazo como

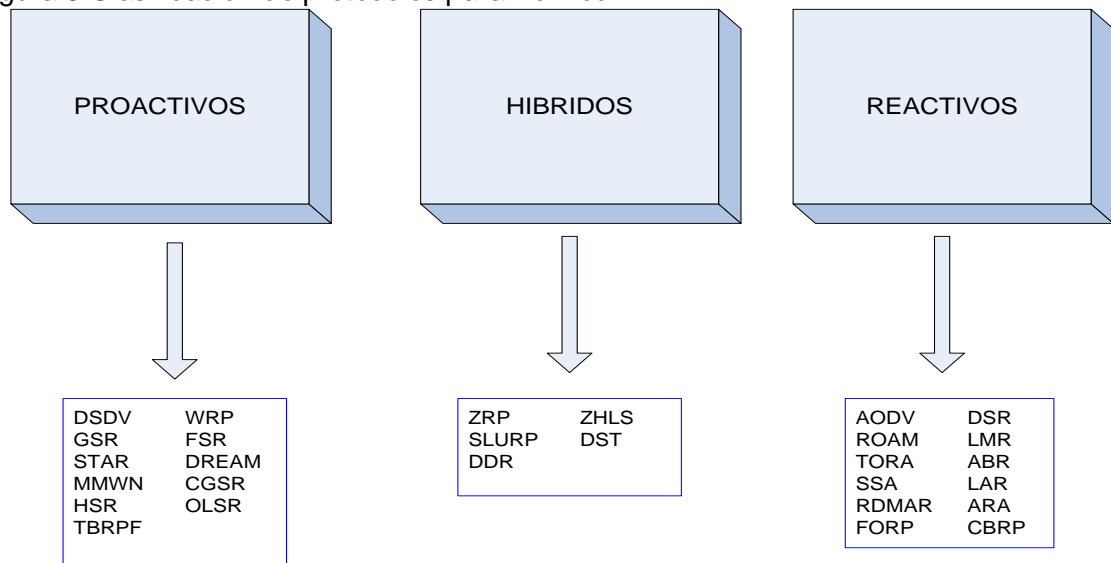
complemento a redes celulares (por ejemplo para cubrir zonas de alta densidad de comunicación o para prolongar la duración de las baterías de terminales inalámbricos), o bien para aplicaciones concretas que no pueden depender de infraestructura pre-existente. Son muchos los protocolos que han aparecido específicamente para redes Ad Hoc. Se pueden clasificar en proactivos, reactivos e híbridos.

En los protocolos proactivos o globales cada nodo mantiene información de encaminamiento de los demás nodos de la red. La información de encaminamiento se almacena en diferentes tablas. Responden a los cambios de topología propagando actualizaciones para mantener una red estable. La diferencia entre ellos está en la forma en que se propaga esta información de actualización y en el tipo de información guardada en las tablas de encaminamiento.

Los protocolos reactivos se diseñaron para reducir la carga de control que se produce en los protocolos proactivos. Para ello se mantiene la información solamente de los nodos activos, las rutas se determinan y mantienen solamente cuando un nodo en cuestión tiene que enviar información. (Kumar 2005)

Los protocolos híbridos son una nueva generación de protocolos que incluyen características proactivas y reactivas. Se han pensado para mejorar la escalabilidad y reducir la carga de información necesaria para el descubrimiento de rutas. Para ello permiten a los nodos cercanos trabajar como una unidad, es decir, sin necesidad de intercambio periódico de información de control.

Figura 8 Clasificación de protocolos para Ad Hoc



(Clayton Jade 2007)

4.3.7 Encaminamiento en Redes Ad Hoc

Se puede definir encaminamiento como un proceso mediante el cual se trata de encontrar una ruta o camino entre dos puntos de la red. Los algoritmos de encaminamiento tienen por fin encontrar la mejor ruta entre pares de nodos. Respecto a la métrica pueden tenerse en cuenta parámetros como el número de hops (el camino que toma un paquete de información desde un nodo a otro de la red), el tiempo de retardo que sufre la información durante su transmisión o la longitud de la cola, etc. Los algoritmos y protocolos de encaminamiento clásicos para Ad Hoc han mantenido en gran medida las métricas clásicas de selección de rutas, centrando sus esfuerzos principalmente en realizar la gestión de la información de control de la manera más eficiente para así mejorar la escalabilidad de la red, es decir, la capacidad de mantener una calidad de servicio a medida que la red crece.

El encaminamiento en Redes Ad Hoc Inalámbricas debe satisfacer ciertos objetivos como:

- Minimización de costes inherentes: ante la escasez de recursos de potencia y ancho de banda, debe reducirse tanto la cantidad de mensajes de control intercambiados como la carga computacional de las operaciones.
- Capacidad multihop: debe asegurarse el reenvío de paquetes a través de los nodos de la red dado que habitualmente el destino no se encuentra dentro del alcance de la fuente.
- Mantenimiento dinámico de topología: debido a las características cambiantes de la red, las rutas establecidas deberán ser actualizadas.
- Eliminación de bucles: la posibilidad de que un nodo sea visitado más de una vez por un paquete en su trayecto hacia el destino implica un coste inaceptable de ancho de banda y recursos de procesamiento y transmisión. Admitiendo diversos modos de operación.
- Bajo demanda: la adaptación del encaminamiento a los patrones de tráfico particulares de cada situación hace posible reducir el gasto de ancho de banda y potencia, aunque se amplía el tiempo de obtención de la ruta.
- Activo: solventa el problema anterior y cubre aplicaciones que necesitan de un envío sistemático de datos, como monitorización.

Con estos propósitos se ha desarrollado una gran cantidad de protocolos de encaminamiento que optan por criterios de diseño en distintas líneas. De este modo, puede sugerirse una serie de taxonomías de protocolos de encaminamiento en Redes Ad Hoc. El objetivo principal del encaminamiento en Redes Ad Hoc Inalámbricas es encontrar rutas óptimas en relación con un parámetro o conjunto de parámetros determinado. El nivel más básico de estos parámetros lo ocupa la capacidad para construir un camino lo más cercano a la línea recta que une una fuente y destino. Esta capacidad es denominada eficiencia de encaminamiento y no debe circunscribirse exclusivamente al protocolo que gobierna la operación de los nodos en lo concerniente a la búsqueda y transporte de la información mediante distintos saltos. Existen interrelaciones entre capas que no se restringen al ámbito del encaminamiento sino que se producen asimismo entre otros parámetros. Refleja dichas interrelaciones entre las capas PHY, MAC y de RED del modelo OSI, que en algunos casos resultan fundamentales para la operación de una Red Ad Hoc. (Macker 2005)

Diferentes análisis para el encaminamiento de redes Ad Hoc:

Este estudio integral de las Redes Ad Hoc Inalámbricas y el encaminamiento en ellas también pueden ser extendidos a las distintas áreas de conocimiento que han abordado su análisis desde diferentes aproximaciones.

- Teoría de la Información: estudia la capacidad del canal. Esta se particulariza en la capacidad de transporte de la red, para la que se establece un límite en N.
- Teoría de la Comunicación: se ocupa del cálculo analítico de parámetros como BER, SINR (relación señal a ruido más interferencia) que caracterizan las prestaciones reales de un sistema de comunicaciones. Bajo esta visión, el encaminamiento es estudiado como una sucesión de enlaces con unos determinados valores de BER o SINR, que se acumulan a lo largo de la ruta establecida.
- Teoría de Grafos: Una Red Ad Hoc Inalámbrica se observa como un conjunto de puntos interconectados según un patrón particular. El objetivo por tanto es la determinación del camino óptimo entre dos puntos de un grafo con base en métricas como el camino más corto.
- Teoría del Control: El análisis abarca en el desarrollo de este proyecto, donde se interpreta una red Ad Hoc, como un sistema en continua variación cuyas componentes deben ser ajustadas de forma dinámica.

4.4 ESTADO DEL ARTE

4.4.1 Ad Hoc como Tecnología de Soporte

El término computación ubicua hace referencia a poder aprovechar la información ofrecida por dispositivos de computación distribuidos en el entorno, de una forma transparente al usuario. Los avances tecnológicos han incentivado el desarrollo de dispositivos con capacidades de comunicación inalámbrica cada vez más pequeños, más potentes y con un consumo de batería más eficiente que hacen que cada vez sea más realista el concepto de computación ubicua. Fuertemente ligado al concepto de computación ubicua, encontramos las aplicaciones dependientes del entorno también conocidas como aplicaciones context-aware. Dichas aplicaciones se caracterizan por ser capaces de adaptar sus funciones de forma transparente en función del contexto, del tipo de usuario y del dispositivo utilizado. En el área de la computación ubicua las comunicaciones juegan un papel fundamental. En concreto, las características de las redes inalámbricas Ad Hoc pueden ofrecer una gran flexibilidad al sistema de comunicaciones. (Juan-Carlos Cano 2009)

4.4.2 Redes Inalámbricas de Sensores

Las redes inalámbricas de sensores están emergiendo como un nuevo nivel en el ecosistema de la tecnología de información y como un dominio de activa investigación involucrando hardware y diseño de sistemas, redes, algoritmos distribuidos, modelos de programación, administración de datos, seguridad, y factores sociales. Están empezando a realizar la visión de una Internet embebida, en la cual redes de dispositivos de cómputo interconectados ampliamente embebidas en el ambiente físico transforman amplios campos de ciencia, ingeniería, y manufactura al proveer instrumentación detallada de muchos puntos sobre espacios amplios, naturales y artificiales (Hong 2007)

4.4.3 Detección de Intrusos y seguridad en redes móviles Ad Hoc

Un intruso, en una red Ad-Hoc, consiste en un nodo que irrumpe en una red privada, a la que no pertenece, y accede a los datos y a la información que circula en dicha red. Su ingreso ilícito a la red, no es garantía de una fácil detección, teniendo en cuenta que se adquiere un acceso inalámbrico que constantemente cambia de topología. Además, una posible detección no es indemnidad para la red, pues es necesario después de detectar al intruso, eliminar su comunicación dentro de la red y excluirlo por completo de la red para evitar una nueva intrusión en futuras ocasiones. (Meza 2007)

4.4.4 Encaminamiento multihop con QoS

Actualmente los servicios sobre redes Ad Hoc gozan de gran popularidad, y los servicios multimedia como puedan ser las aplicaciones de transmisión de vídeo en tiempo real son cada vez más demandados. Así, es necesario proveer de calidad de servicio (QoS) extremo a extremo sobre este tipo de redes, a pesar de que supone un gran reto debido a las efímeras estructuras que poseen. MM-DSR (Multipath Multimedia Dynamic Source Routing) es un protocolo de encaminamiento multicamino basado en DSR que trabaja junto con un algoritmo de capa cruzada “cross-layer” capaz de proveer de calidad de servicio para múltiples fuentes de vídeo sobre redes ad hoc IEEE 802.11b. Los puntos débiles del sistema que utiliza el protocolo estándar DSR y la especificación 802.11b se han analizado, y el trabajo realizado se ha enfocado para mejorar la tasa neta de datos recibidos y la calidad percibida por el usuario final. El rendimiento de aplicaciones de flujos de vídeo “video-streaming” se ha mejorado bajo condiciones de alta carga de tráfico sobre redes móviles Ad Hoc. (Roberto Carlos Hincapié 2008)

4.4.5 Soluciones escalables de baja sobrecarga basadas en Proxies

Algoritmo de descubrimiento de gateways que adapta dinámicamente su comportamiento según el número de fuentes de tráfico activas en la red Ad Hoc. Además, nuestra propuesta utiliza proxies (nodos intermedios que hacen uso de información local) para reducir aún más la sobrecarga del protocolo. Se logra evaluar la sobrecarga de señalización de este algoritmo. Por medio de un estudio analítico y otro basado en simulación, mostramos cómo nuestro esquema reduce considerablemente la sobrecarga en comparación con el resto de soluciones, mientras que todavía es capaz de proporcionar una alta tasa de paquetes entregados por fuentes y gateways. (IEEE 2009)

4.4.6 Redes Móbiles Ad Hoc con vista a 4G

La tecnología 4G es todo acerca de una red global integrada basada en un enfoque de sistemas abiertos. Integrando diferentes tipos de redes inalámbricas con redes troncales de línea fija y sin problemas de convergencia de voz, multimedia y datos de tráfico a través de una única IP basadas en la red básica será el foco principal de 4G. Con la disponibilidad de ancho de banda ultra alta de hasta 100Mbps, los servicios multimedia se pueden apoyar de manera eficiente. Computación ubicua está habilitado con movilidad mejorada del sistema y el apoyo de portabilidad, y servicios basados en localización y apoyo de la creación de redes ad hoc que se espera. Basados en redes Ad Hoc se espera que sean una parte importante de la arquitectura de 4G. Una red Ad Hoc móvil es una red dinámica transitoria formada por una colección de forma arbitraria situado nodos

inalámbricos móviles sin el uso de la infraestructura de red existente o de administración centralizada. Las redes Ad Hoc móviles están cobrando impulso, ya que ayudan a realizar los servicios de red para los usuarios de móviles en las zonas sin comunicaciones preexistentes de infraestructura. Ad Hoc permite a los nodos inalámbricos independientes, cada uno limitado en la transmisión y la potencia de procesamiento, para ser "encadenado" en conjunto para proporcionar un mayor la cobertura de redes y capacidades de procesamiento. (Chlamtac 2009).

4.4.7 Simulación y modelado de redes móviles Ad Hoc

Las tecnologías de redes y sistemas de comunicaciones inalámbricas están creciendo a un ritmo cada vez más rápido, y esto es probable que continúe en el futuro previsible. Mayor fiabilidad, una mejor cobertura y servicios, de mayor capacidad, gestión de la movilidad y wireless multimedia. La evolución de los sistemas nuevos y mejores diseños de siempre dependerá de la capacidad de predecir móviles, Modelado y simulación son tradicionales los métodos utilizados para evaluar los diseños de red inalámbrica. Hasta la fecha, el modelado matemático y el análisis han aportado algunas ideas en el diseño de tales sistemas. Sin embargo, análisis los métodos a menudo no son en general o de detalle suficiente para la evaluación y la comparación de los diversos sistemas propuestos inalámbricos y sus servicios. Así, la simulación puede significativamente ayudar a los ingenieros del sistema para obtener las características de funcionamiento esencial. Sin embargo, las simulaciones detallada de estos sistemas puede requerir cantidades excesivas de la CPU y su tiempo de ejecución en las máquinas secuenciales desde hace tiempo se sabe que han de cómputo requisitos que exceden con mucho las capacidades de cómputo de las máquinas más rápidas disponibles. (Azzedine Boukerche 2009)

4.4.8 Auto-Organización y cooperación en redes Ad Hoc

Los enfoques tradicionales de las redes ad hoc no explotan ciertas características como la cooperación y la relación entre nodos. Un enfoque diferente para la capa de enlace, donde los nodos no mantienen rutas por medio del protocolo de enrutamiento (conexiones cortas), sino también (conexiones extensas). Donde ser pueden reducir costos de comunicación, la complejidad y mejorar la capacidad de para compartir información en cualquier lugar y en cualquier momento. La auto-organización es la característica fundamental y más innovadora de la telefonía móvil redes ad hoc. La auto-organización puede ser definida como una propiedad de ciertos mecanismos dinámicos mediante el cual las estructuras, patrones, y decisiones figuran en los planos I de un sistema basado en la interacción entre los componentes de bajo nivel. (Shao-Qiu Xiao 2006)

4.5 LIMITACIONES Y ALCANCES

Este trabajo tiene como propósito el análisis de la limitación de potencia en la transmisión de datos, sobre la topología en redes inalámbricas Ad Hoc y la conexión entre nodos de la red, soportada bajo el protocolo 802.11b en modo de funcionamiento Ad Hoc, y se enfoca en escenarios con aplicación a domótica.

Se seleccionan tres problemas sobre la limitación de potencia y se realiza el diseño, simulación del escenario y análisis. Se plantea una solución para el problema de la limitación de potencia, esta no apunta a realizar un protocolo nuevo y tampoco una modificación a los protocolos de ruteo, la solución deriva a demostrar el comportamiento de un algoritmo de control de potencia para una estructura plana, y como aplicar la solución se deja abierta a futuros desarrollos en redes Ad Hoc.

5. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología que se plantea para el desarrollo de la presente investigación es descriptiva y explicativa, y se desarrollará teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- Se recopiló Información en redes Ad Hoc sobre su funcionalidad, aplicabilidad y la importancia de la potencia de transmisión (antecedentes-estado del arte-marco teórico- justificación).
- Se elaboró un anteproyecto de grado, describiendo la viabilidad de la investigación y los objetivos a lograr.
- Se analizaron simuladores que existen para redes inalámbricas con el objeto de seleccionar en el que se van a simular las redes Ad Hoc con propósito en análisis de potencia, llegando a la opción de Matlab y OmNet.
- Se escogieron tres problemas para analizar cómo afectan la potencia de transmisión y diseñar escenarios de prueba basándose en aplicaciones a domótica.
- Elaborar simulación de topologías dinámicas, haciendo medible la potencia transferencia entre los nodos de la red Ad Hoc.
- Análisis matemático de los problemas que limitan la potencia de operación en la redes Ad hoc.
- Se planteó una posible solución a la limitación de potencia en la transferencia de datos, analizando un algoritmo de control de topología.
- Compilar resultados y elaborar el desarrollo e informe final de la investigación (Monografía)

6. DESARROLLO

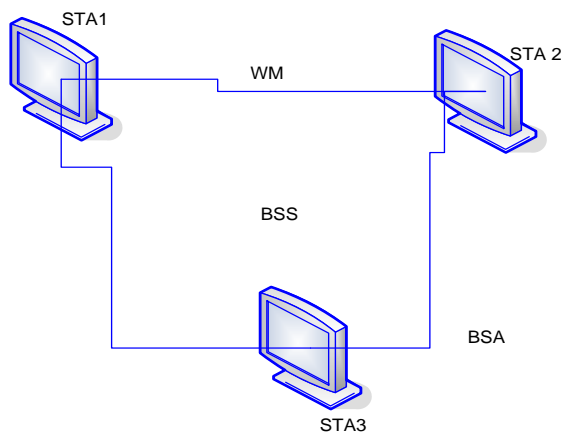
6.1 802.11B EN MODO AD HOC

El estándar 802.11 especifica en la capa de acceso al medio (MAC) la gestión de potencia que permite a las estaciones móviles la conservación de energía por el cambio de estado de los nodos a modos de bajo consumo. En el caso de una red con infraestructura, la gestión de la energía está centralizada en el punto de acceso. Para las redes Ad Hoc los estados de sus enlaces por radiofrecuencia pueden ser activos, inactivos o estado de reposo. En el estado activo el nodo consume la potencia máxima y se utiliza para la transmisión y recepción. El estado inactivo es cuando el nodo está dentro del rango de transmisión, pero no transmite ni recibe datos. El estado de reposo no permite la recepción de datos o la transmisión y tiene un bajo consumo de potencia notorio al estado activo. El factor crítico en el consumo general de energía de un dispositivo de 802,11 es el tiempo que el dispositivo debe permanecer en un modo activo para transmitir o recibir una cierta cantidad de datos.

- Componentes de una arquitectura 802.11b
 - WM: El medio utilizado para implementar una WLAN
 - STA: Dispositivos con interfaz 802.11b
 - CF: Función de coordinación de transmisión y recepción
 - BSS: Conjunto de STAs controladas por una CF
 - BSA: Área de cobertura de un BSS

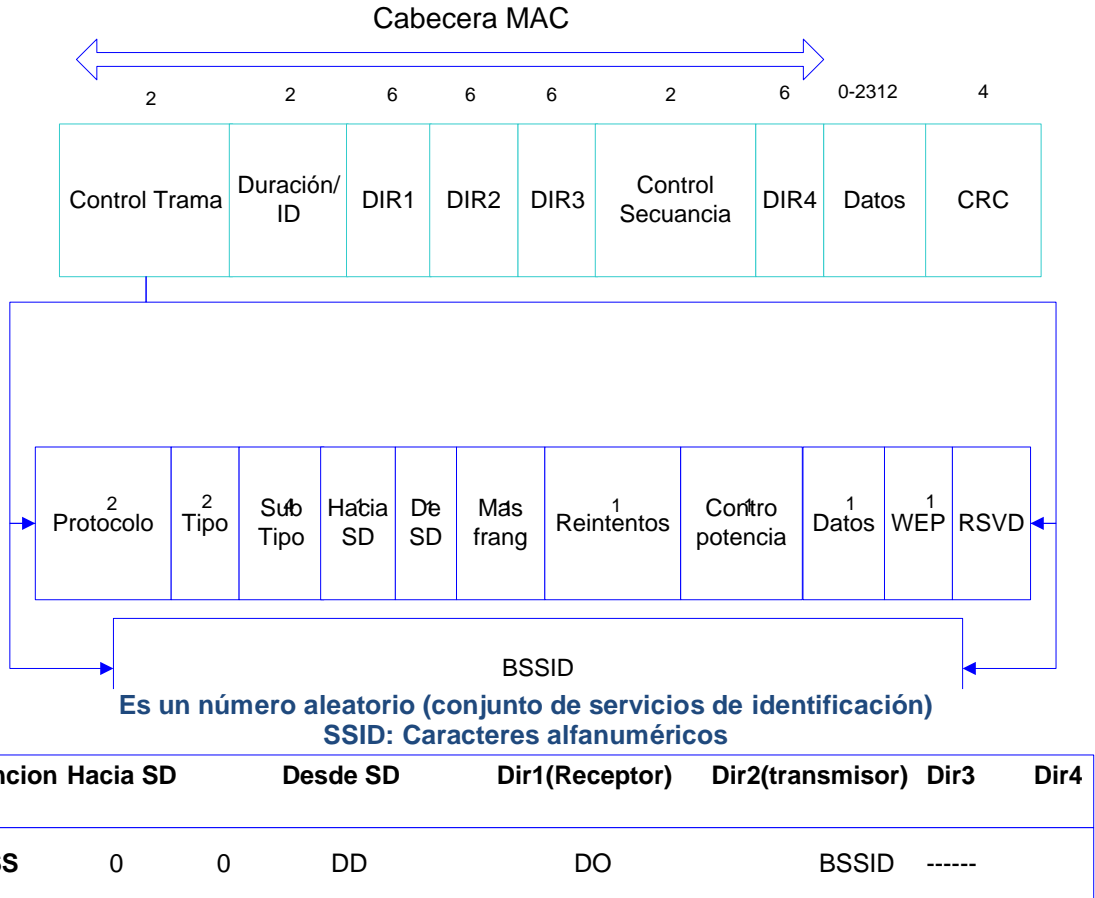
La figura 9 y Figura10, representa la arquitectura 802.11b para un entorno de comunicación Ad Hoc.

Figura 9 Arquitectura 802.11b



(Cisco 2007)

Figura 10 Formato de trama 802.11b



(Stefano Basagni 2009)

6.1.1 Cobertura

Tabla 3 Velocidad de Transferencia, Estándar 802.11b

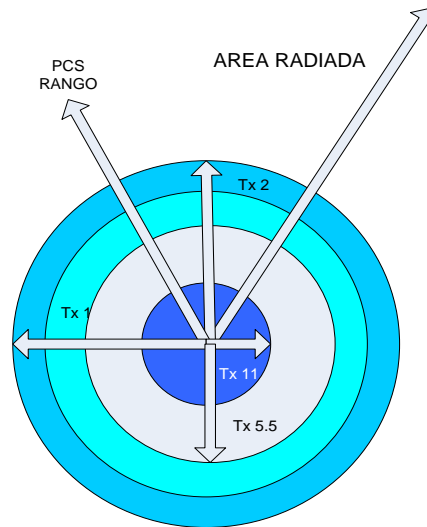
Velocidad Hipotética	Rango en ambientes (cerrados)	Rango en el aire (Libre)
11 Mbts/s	50 m	200 m
5.5 Mbts/s	75 m	300 m
2 Mbts/s	100 m	400 m
1 Mbts/s	150 m	500 m

(Cisco 2007)

Las distancias para estos dispositivos Wireless 802.11, son de 100 metros para espacios cerrados y hasta 400 metros en espacios abiertos. El alcance depende principalmente de la potencia de emisión de los equipos, dato que nos suele

suministrar el fabricante en mW o en Decibeles dB y de los “objetos a atravesar”, no es lo mismo una oficina con paredes de yeso, a un edificio antiguo con paredes gruesas de piedra. El estándar 802.11b es el usado para modo Ad Hoc, permite un máximo de transferencia de datos de 11 Mbps en un rango de 100 metros.

Figura 11 Modelo del canal para 802.11



(Giuseppe Anastasi 2009)

Tabla 4 Características del protocolo 802.11b

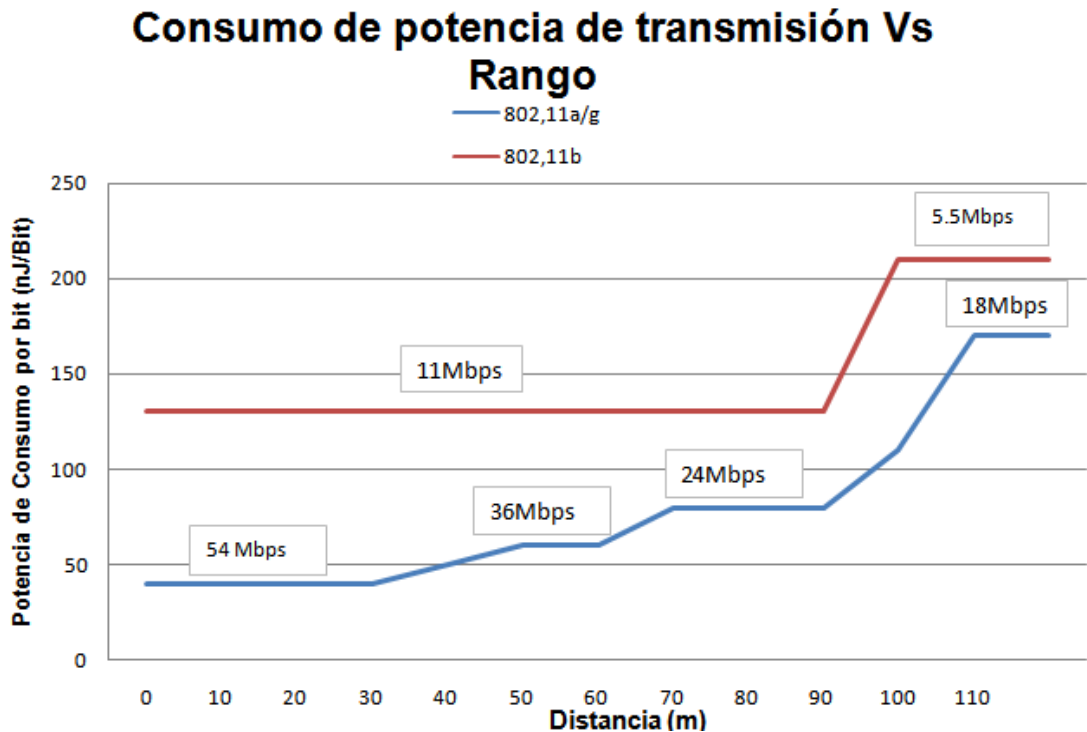
Estándar	802.11b
Grado de adaptación	Adoptado masivamente
Coste	Bajo
Cobertura	300m-400m- buena conectividad con determinados obstáculos
Acceso al publico	El número de Host crece exponencialmente, Más extendido y aceptado.
Compatibilidad	Compatible con 802.11g Incompatible con 802.11a
Potencia de salida del transmisor	Típica 18dBm (+-2dBm) a 11, 5.5, 2 y 1Mbps
Sensibilidad de recepción	Típica -84dBm para 11 Mbps Típica -90dBm para 2Mbps

(Hou 2007)

6.1.2 Esquema de modulación

En teoría, 802.11b representa un rendimiento inferior en su esquema de modulación que traducirá en un menor consumo de energía de la batería. Si sólo se examina la energía consumida para transmitir o recibir un byte de datos, por ejemplo, entonces un dispositivo 802.11b consumiría aproximadamente el 30 por ciento menos energía que un equivalente 802.11a / g de dispositivo para la misma cantidad de los datos.

Figura 12 Consumo de potencia transmisión vs Rango



(Instruments 2003)

Pero el análisis muestra resultados que son decepcionantes cuando se examina en estado de transmisión o recepción en cuanto al análisis por bit o de potencia consumida por bit, en el grafico se observa la comparación de los tres protocolos según su consumo de potencia en función al rango de transmisión (Instruments 2003)

Otro factor crítico en el consumo general de energía de un dispositivo de 802,1b es el tiempo que el dispositivo debe permanecer en un modo activo para transmitir o recibir una cierta cantidad de datos. La vida de la batería no es sólo una función de la energía consumida por bit de datos en un modo activo, sino también cómo

tiempo que el dispositivo debe permanecer en un modo activo para transmitir o recibir una significativa cantidad de datos de la aplicación.

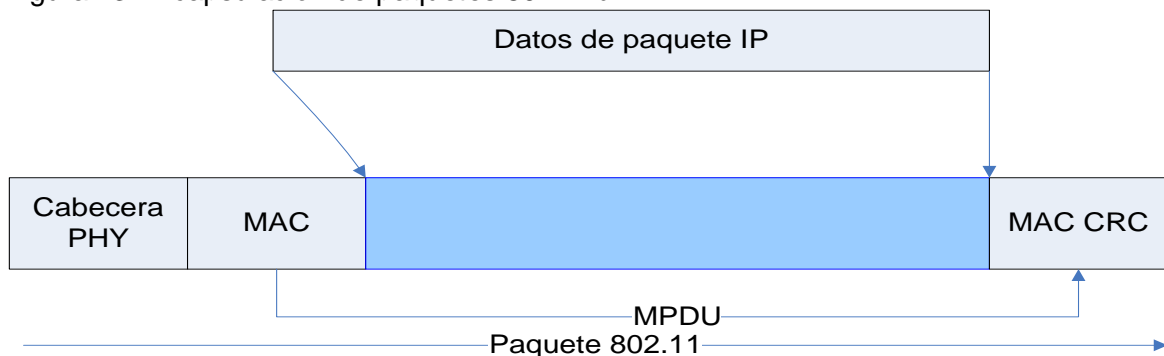
Consumo de energía y duración de la batería son esenciales para la mayoría de estos dispositivos Wi-Fi, pero especialmente para los teléfonos móviles y PDA. La mayoría de aplicaciones Wi-Fi suelen pasar 90 a 95 por ciento del tiempo en un modo de espera activa en lugar de transmitir o recibir datos. Evidentemente, muy bajo el consumo de energía durante las operaciones de espera es un requisito para la batería de larga duración.

El protocolo 802.11b tiene dos modos de operación modo awake (AM) o modo de ahorro de energía (PSM). En el caso de la AM esta el estado activo o inactivo; este es un modo de alta potencia como el enlace consume una energía equivalente a la transmisión. PSM cambia de estados activo a estado de reposo para ahorrar energía. Y el modo STPM considera explícitamente el tiempo y el coste de la energía en los cambios del nodo. Proporcionando una interfaz simple que permite aplicaciones para revelar pistas sobre su intención en el uso de la interfaz de red, luego adapta su potencia según la estrategia de los patrones de acceso de la red.

6.1.3 Estructura del paquete (Instruments 2003)

Los datos del paquete IP, o los datos que se están comunicando, se encapsulan con la MAC y con otro de cuatro bytes segmento de datos que funciona como una cifra de control CRC o FCS. Todo esto datos son reunidos en un MPDU (MAC paquetes de datos por unidad). Cuando el paquete se transmite, la capa física PHY añade una cabecera de sincronización.

Figura 13 Encapsulación de paquetes 802.11b

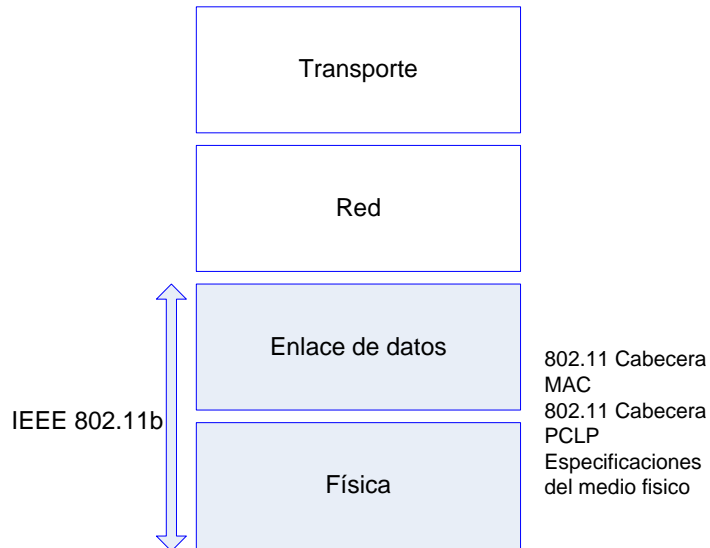


(Instruments 2003)

El estándar 802.11b define la capa física y parte de la capa de enlace del modelo OSI. La capa física se encarga de transportar los datos como bits en tanto la capa

de enlace define el control de acceso al medio. De acuerdo al estándar 802.11b usa una función de coordinación distribuida, basado en CSMA/CA para evitar las colisiones.

Figura 14 Especificaciones del Modelo Físico



(Schiller 2002)

En este caso, los nodos necesitan que el medio este desocupado por un tiempo determinado después de lo cual el transmisor envía el paquete de datos DATA, si la transmisión es correcta el receptor a su vez enviara una respuesta indicando que recibió el paquete correctamente (ACK). Otra opción es el mecanismo RTS/CTS (Request to send/Clear to send). RTS y CTS paquetes se señalamiento enviados por el transmisor y el receptor antes de los paquetes de DATA y ACK. Con el propósito de reservar el medio informando a los nodos vecinos que una comunicación tendrá lugar. Los paquetes RTS y CTS contienen el NAV, (network allocation vector) para indicar cuanto tiempo demorara la transmisión.

El dialogo RTS/CTS, llamado también virtual carrier sensing, se usa para resolver el problema de terminales ocultos. Este mecanismo funciona muy bien en redes wireless que usan infraestructura. Sin embargo en redes Ad Hoc no es efectivo por que en las redes con infraestructura se asume que solo existe un rango de transmisión.

- Capa Física (PHY)

Características relevantes en la capa física, para un modo de operación Ad Hoc:

- Mayor umbral de sensibilidad en la detección de la portadora causa procesamiento innecesario.
- El nivel de potencia se ajusta al método e influye en la potencia que ahorra el rendimiento.
- Las detecciones de paquetes falsos de muestreo desperdician la potencia.
- Tasa de símbolo e intercambio de salida.
- Más alta la radiación de potencia causa un nivel de interferencia más alto.
- Mide la distancia, luego ajusta la velocidad de transmisión y la potencia.

6.1.4 Análisis del control de acceso al medio (MAC)

- Los esquemas para la IEEE 802.11 son:
 - DCF: Competencia por el acceso al medio
 - PCF: Acceso controlado
 - Prioridad de acceso: Separación entre tramas (IFS)
 - Portal virtual: Tramas RTS/CTS (STA oculta)
 - Medición en modo de espera
 - Potencia máxima a recibir el mensaje de control a corto
 - Ahorro de energía de impacto de QoS (retardo)
 - Más control de mensajes incrementa el encabezado de la trama

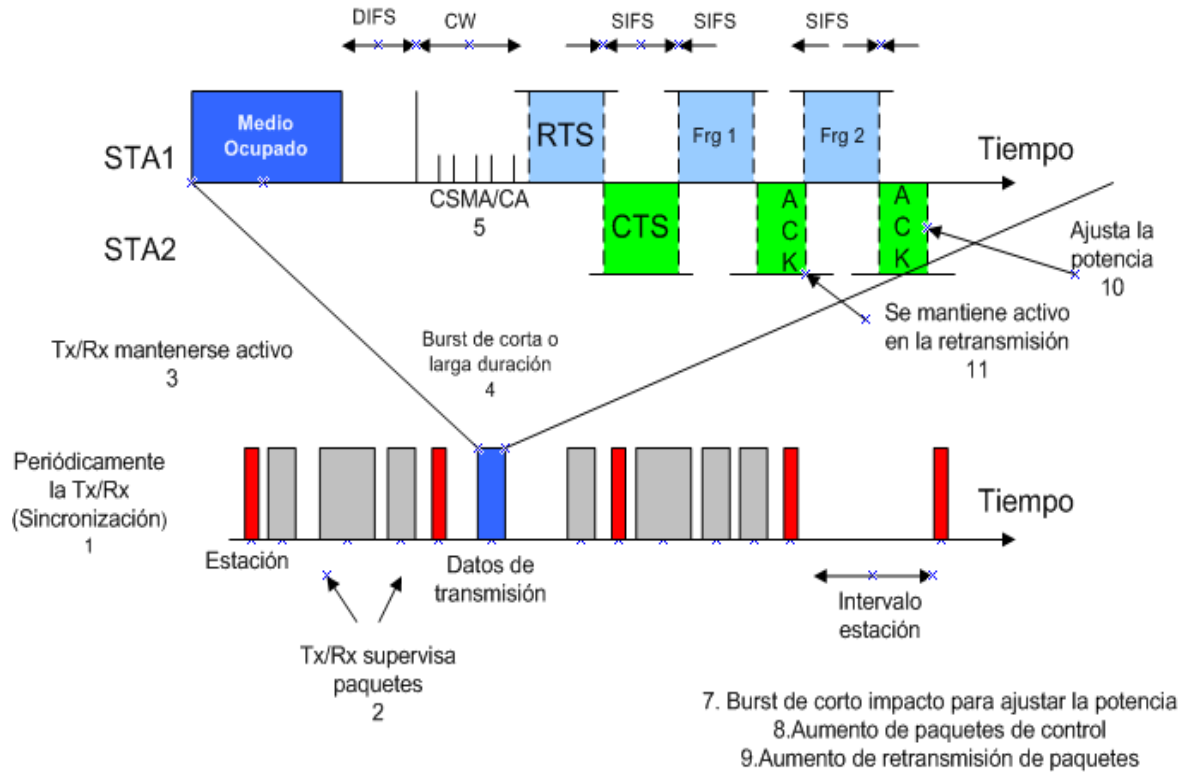
Figura 15 Acceso al medio



(Cisco 2007)

Se describe cómo dos o más estaciones de 802,11b logran crear una red Ad Hoc. Se establece un servicio básico independiente (IBSS). Un IBSS permite que dos o más estaciones de 802,11b puedan comunicarse entre sí, sin la intervención de un punto de acceso ya sea centralizada o una red de infraestructuras. Por lo tanto, el IBSS puede ser considerado como el apoyo prestado por el estándar 802.11 para la comunicación en estas redes móviles debido a la flexibilidad del protocolo CSMA / CA, para recibir y transmitir los datos correctamente es suficiente que todas las estaciones dentro de la IBSS se sincronicen con un reloj común.

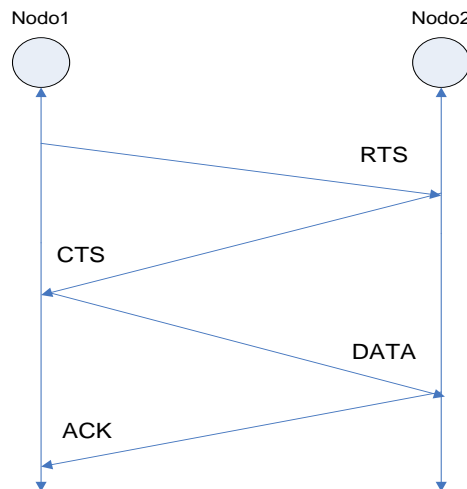
Figura 16 Diagrama de tramas en el control de acceso al medio



(Lin 2009)

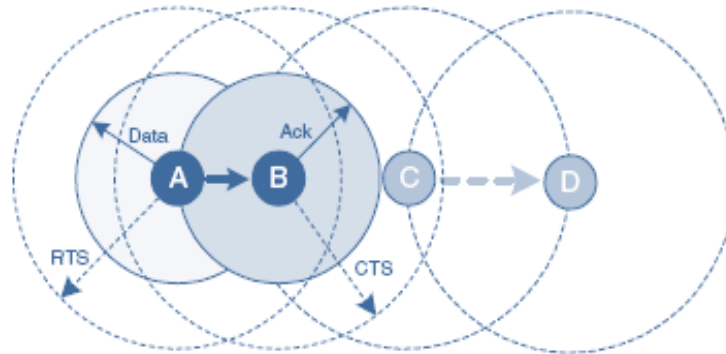
La capa MAC en tres categorías, la base de reservas Power-Aware MAC, la desactivación de Power-Aware MAC y transmisión de potencia de control

Figura 17 Paquetes de control



(Chaudet 2006)

Figura 18 Entorno IBSS, control de la trama 802.11b



(Baek 2008; WiFi 2009)

Se especifican funciones de sincronización (TSF) para lograr la sincronización de reloj entre las estaciones. En una red con infraestructura se proporciona la sincronización de los relojes por el AP, y todas las estaciones sincronizan su propio reloj para el reloj de el AP. En un IBSS, debido a la falta de una estación centralizada, la sincronización del reloj se logra a través de un algoritmo distribuido. En ambos casos, la sincronización se obtiene mediante la transmisión especial de macros que contiene información de tiempo. El TSF requiere de dos funciones fundamentales, a saber, la sincronización de mantenimiento y la adquisición de sincronización, Limitantes de la potencia de transmisión en redes Ad Hoc.(Giuseppe Anastasi 2009)

6.1.5 Modelos para la potencia de transmisión

En consecuencia, debe determinarse el rango de cobertura de cada nodo con base en unos criterios que aseguren la optimización de la capacidad de la red en función de la relación entre el progreso en cada salto y el porcentaje de transmisiones efectuadas con éxito sobre el escenario de interferencias producido.

Se describe un modelo para el cálculo del radio de cobertura de los nodos que maximiza la capacidad de la red, adicionalmente, ahí un parámetro más esencial que éste, su conectividad, como premisa fundamental para que se produzca la comunicación de una Red Ad Hoc. Con este fin se establece por debajo de:

$$0.74\text{Log}N = \text{Vecinos por nodo}$$

La probabilidad de que este desconectado converge a 1 con $N \rightarrow \infty$; al mismo tiempo la red muestra una conectividad asintótica asegurando un número de vecinos por nodo superior a:

$$N \rightarrow \infty \text{ Converge a } 15.1774\text{Log}N = \text{Vecinos por nodo}$$

El estudio relativo a radios de cobertura, conectividad de la red y distancias entre nodos reflexiona sobre el encaminamiento en el ámbito de cada salto individual que es implementado. Por consiguiente, el siguiente paso del análisis debe considerar la extensión de este enfoque hasta la ruta completa, formada por una serie de saltos individuales.

La observación del número de saltos en una red recae dentro de los límites del análisis de una ruta como tal, sin embargo, este parámetro no ofrece una representación unívoca de las capacidades del encaminamiento ya que, tan sólo puede establecerse una acotación de la relación entre el mismo y la distancia, este es el objeto, que propone un modelo teórico para estimar la longitud de los caminos construidos en una red unidimensional mediante protocolos de encaminamiento que implementan el descubrimiento de ruta mediante técnicas.

Bajo estas condiciones, se alcanza una relación entre la longitud del camino, L , y la distancia que separa fuente y destino R , de la forma:

$$L = \frac{4}{3}R$$

Eficiencia energética: En general, la eficiencia energética se mide como la fracción del consumo de energía útil (marco para el éxito de la transmisión) al total de energía gastada. (Eric Brewer 2004)

6.1.6 Potencia en el Nodo (Communications 2004)

Los nodos en una red Ad Hoc móvil dependen de baterías para funcionar correctamente. Dado que necesitan para transmitir sus mensajes de otros nodos hacia su destino final, el agotamiento de las baterías tendrá un gran impacto en el rendimiento de la red global. Sobre todo si la tasa de consumo de energía no es distribuida de manera uniforme en todos los nodos, algunos nodos pueden caducar antes que otros (Toh, 2001b).

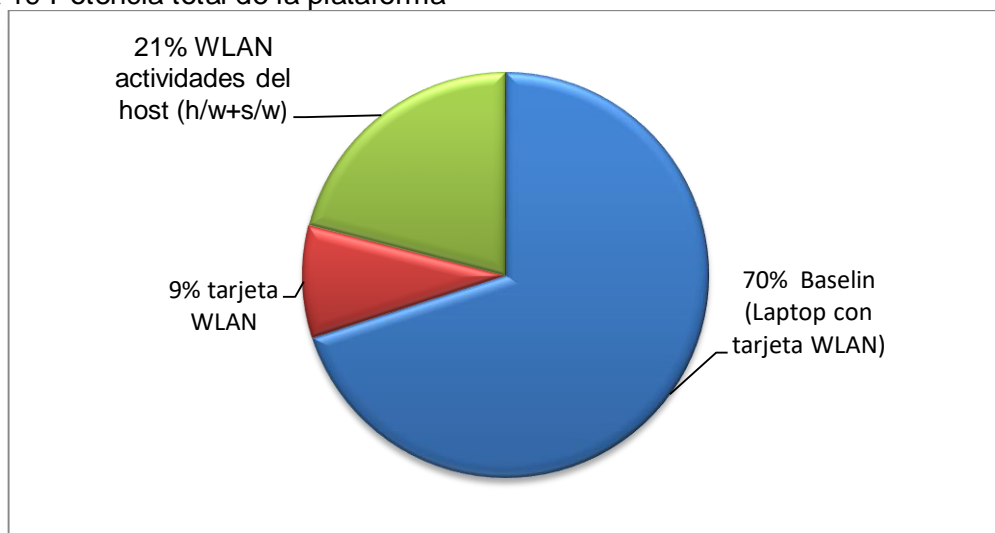
La forma elemental de enviar información desde una fuente a un destino en una ubicación conocida, consiste en elegir la potencia de transmisión necesaria para alcanzar este último mediante una conexión directa. Este procedimiento puede ser válido en redes donde la comunicación se establece entre un número muy reducido de parejas fuente-destino (F-D) perfectamente identificadas en cuanto a sus localizaciones y en las que es posible la creación de enlaces punto a punto mediante el uso de antenas direccionales. Sin embargo, en el caso de una Red Ad Hoc, esta aproximación es absolutamente inviable ya que cualquier nodo de la red puede actuar como fuente o destino de forma indiscriminada y variable en el

tiempo y además es densa en la mayor parte de los casos. Asimismo, dado su carácter denso y la restricción impuesta como objetivo prioritario para este tipo de redes, la potencia de transmisión no puede tomar valores elevados para evitar un alto nivel de interferencias y un consumo energético inaceptable, respectivamente. Por estos motivos, el destino no puede ser alcanzado en un único hop, así, se debe recurrir a esquemas multihop para efectuar el envío de información de fuente a destino. (Scott 2004)

Debido a que las baterías para cada nodo móvil tienen una potencia de procesamiento limitado, lo que a su vez limita los servicios y aplicaciones que pueden ser apoyados por cada nodo. Esto se convierte en un problema más grande en los anuncios para móviles, ya que cada nodo actúa como sistema a la vez un fin y un router en el mismo tiempo, se requiere energía adicional para reenviar paquetes de otros nodos.

Este trabajo examina el consumo de energía de la red Ad Hoc inalámbrica, donde el nodo es la NIC (tarjeta de red inalámbrica) soportada bajo el estándar 802.11b, Una observación importante en este trabajo es que el aumento del consumo de energía debido a la NIC en su modo de operación proviene no sólo de la tarjeta inalámbrica en sí, sino también de los adicionales como la actividad de la CPU principal y otras partes de la plataforma de portátiles necesarios para el funcionamiento de la interfaz de red. En algunos casos, la energía adicional consumida por el resto de la plataforma mucho mayor que la energía consumida por la tarjeta de red inalámbrica en sí. Con el fin de observar fácilmente la red se usan métricas de consumo de energía como combinación de tiempo de inactividad y los períodos de envío de y recepción de datos.

Figura 19 Potencia total de la plataforma

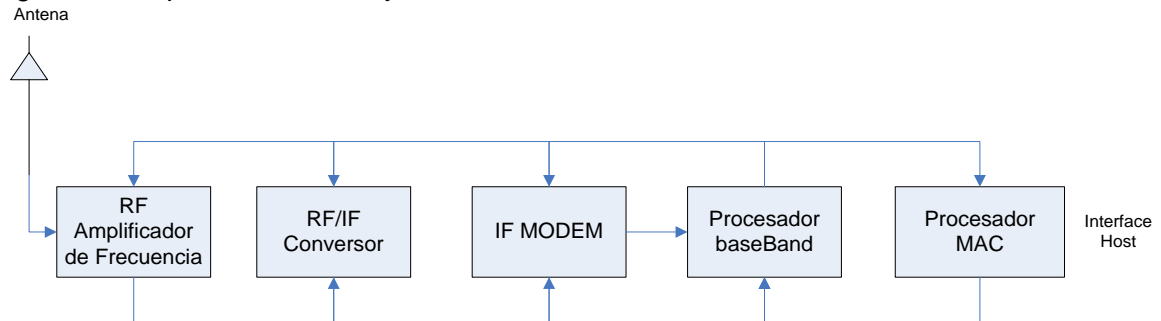


(Communications 2004)

Cuando una tarjeta inalámbrica se añade al dispositivo, aumenta el consumo en la plataforma por dos razones:

- La energía adicional consumida por la tarjeta en sí.
- La energía adicional consumida por el resto de la plataforma de apoyo a la tarjeta y la conexión a la red.

Figura 20 Esquema de una tarjeta de red



(Jean-Pierre Ebert 2003)

La energía adicional consumida por la tarjeta es normalmente documentada por el fabricante de la tarjeta de red como el máximo consumo de energía de la tarjeta cuando recibe y transmite. El segundo punto representa a menudo el consumo de energía más importante que la primera

En la medición de consumo de potencia hay cinco estados físicos:

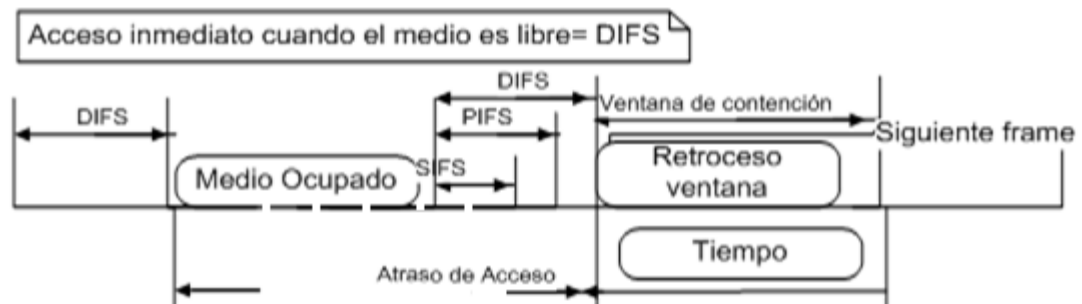
- Apagado. El dispositivo está completamente apagado.
- Dormir. La mayoría de los circuitos están apagados, salvo en determinadas zonas críticas.
- Escuchar. El radio está escuchando por tráfico, pero no transmite datos al host.
- Recibir. La tarjeta WLAN es la detección, demodulación y el paso de paquetes para el anfitrión.
- Transmitir. La tarjeta WLAN esta modulando y enviando paquetes en el aire.

Tabla 5 Consumo de potencia en mW (Vdd 3V o 5V, Idd)

IC/Modo	Sleep	Idle	TX	RX
MAC	5	40	125	125
Baseband	2	23	33	100
Modem IF	10	10	400	500
Frecuencia Dual	.075	.075	40	40
RF/IF conversor	.05	.05	300	100
perdidas amplifica	off	35	off	35
RF potencia Amplifica	off	off	1600	off
Potencia total Máxima	20	110	2500	900

(Jean-Pierre Ebert 2003)

Figura 21 Nodo en modo Activo



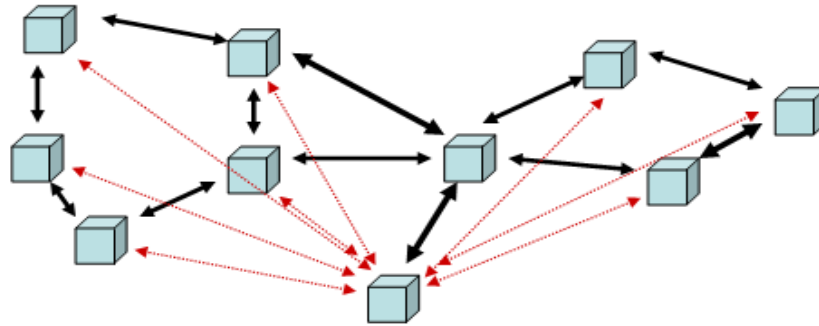
(Lin 2009)

6.1.7 Topología Dinámica

La auto-organización es un fenómeno, el comportamiento sencillo de las entidades individuales (nodos). Las redes Ad Hoc se basan en este comportamiento; y por esta razón se constituyen en una tecnología ideal para establecer comunicación en aplicaciones donde los usuarios son móviles.

En una red Ad Hoc los nodos se comportan de forma autónoma, permitiendo que estos se muevan libremente en cualquier dirección y en cualquier momento de forma independiente respecto de los demás nodos. Un nodo puede establecer un enlace inalámbrico con otro nodo, si este se encuentra dentro de su rango de transmisión. De lo contrario, debe existir una ruta formada por nodos intermediarios que faciliten la transmisión de los datos o la información, en este tipo de redes, la movilidad y la topología es un factor determinante para el diseño de control adecuado en la red.(SeungJong 2007)

Figura 22 Topología Dinámica



(IEEE 2006)

En este proyecto se presenta el estudio en la topología dinámica y su relación con el control de la potencia de transmisión en redes Ad Hoc. Los nodos de la red comparten un solo canal transmitiendo sus paquetes usando la máxima potencia disponible. Si el número de nodos es elevado o si el tráfico es pesado en la red, la interferencia aumenta y el rendimiento de la red se reduce. En toda transmisión existen tres rangos:

Transmisión, detección de portadora e interferencia. En el primero la señal de los paquetes recibidos es fuerte, los paquetes son reconocidos e interpretados correctamente.

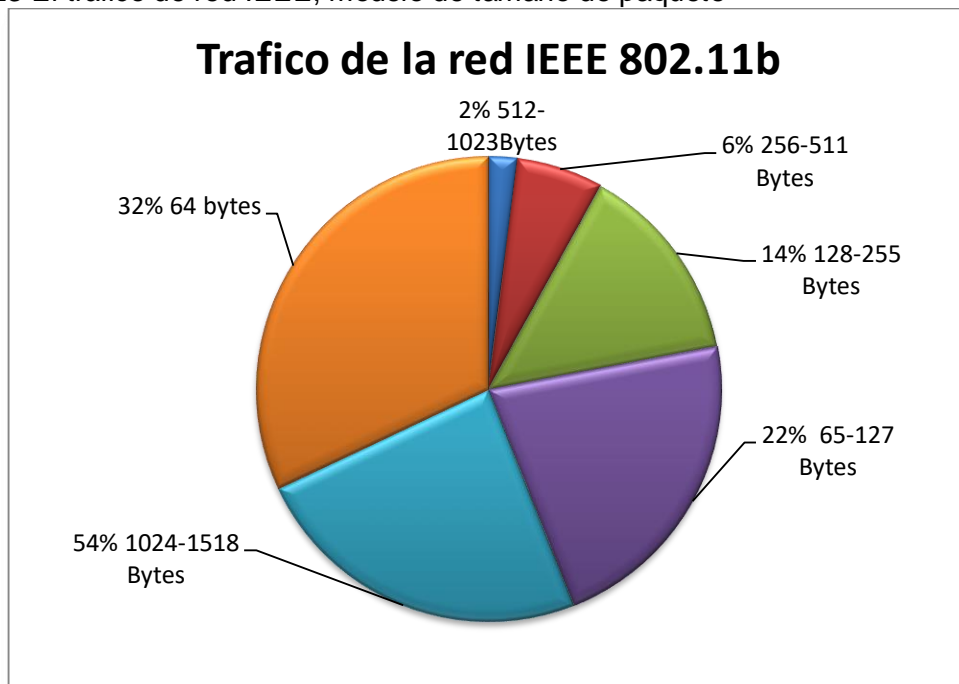
El rango de los paquetes son reconocidos pero no interpretados y en último caso la señal es débil próxima al noise floor. Los protocolos de control de potencia reducen la interferencia usando la mínima potencia de transmisión que asegure el intercambio de paquetes.

- Implicaciones de la topología dinámica
 - Mayor frecuencia de refrescamiento de los protocolos
 - Mayor consumo de energía
 - Con un Ancho de banda sin utilizar
 - Mayor consumo de energía por la conexión y desconexión de enlaces entre nodos
 - Mayor consumo de potencia dependiente al rango de cobertura para la transmisión entre nodos
 - Movilidad ilimitada
 - Interferencia: Comunicación radio
 - Conexiones asimétricas: Potencias de emisión y atenuación diferentes en los dos sentidos

6.1.8 Colisiones

Los nodos incluidos en el área de cobertura de un algunos de acogida pueden enviar mensajes de control que chocan con la RTS / CTS fotogramas transmitidos por este nodo. Un sistema de resolución de colisiones (retroceso exponencial) aplicarse, cuando se detecta una colisión. Cuanto mayor sea la el número de colisiones, menor será el rendimiento de la red. Además de transmitir el RTS / CTS con paquetes de de alta potencia de transmisión y los paquetes de datos, con reducción de de energía, la potencia de transmisión se consume también en la retransmisión. La investigación ha demostrado que el tráfico de red está dominado por breves ráfagas de datos. El gráfico ilustra un estudio realizado por el IEEE, que corrobora este punto.

Figura 23 El tráfico de red IEEE, modelo de tamaño de paquete



(Instruments 2003)

En una red Ad Hoc, la máxima tasa de transmisión usualmente es menor que la tasa de transmisión nominal, debido a factores como la interferencia ocasionada por nodos vecinos, el mecanismo de RTS/CTS, la movilidad de los nodos, la “auto interferencia” entre los paquetes de una misma sesión, etc.

En la potencia de consumo instantánea, se describe la potencia real de consumo del nodo para un modo de trabajo en particular y para un conjunto de parámetros. Como los estados del nodo y tres parámetros de variación (tamaño de paquete, la transmisión de tipo y el nivel de potencia de RF).

El consumo de potencia es una medida objetiva, no puede entregar cualquier idea sobre la duración de la batería de un teléfono móvil (nodo) y su duración.

Aunque los cinco estados físicos de la tarjeta inalámbrica son útiles, su consumo de energía individual en realidad no se medirá. En cambio, el enfoque debe ser de los escenarios de uso real, escenarios de uso real son combinaciones lineales (medias ponderadas) de los estados físicos. Es decir, en el curso normal de operación Ad Hoc.

- TCP UpLink: El host esta activamente transmitiendo datos. El dispositivo está en modo de transmisión la mayor parte del tiempo. Sin embargo, de acuerdo con el estándar 802.11b, debe escuchar a un paquete de confirmación (ACK de la capa física) y escuchar si el canal está ocupado inmediatamente después de enviar cada paquete. Esto es cierto incluso cuando se está enviando consecutivos paquetes. Así, el dispositivo podría estar en el estado de transmisión quizá el 60% del tiempo y en el escuchar y recibir el resto del tiempo.
- TCP DownLink: El host esta activamente recibiendo datos. El dispositivo está en modo de recepción la mayor parte del tiempo. Sin embargo, de acuerdo con el estándar 802.11b, debe transmitir a la capa física ACK, escuchar si el canal está ocupado inmediatamente después de recibir un paquete, y también transmitir y recibir ACK de TCP ACK su capa física. Así, la estación serán en su mayoría recibir y escuchar los estados, y brevemente en el estado de transmisión
- Teniendo en cuenta el consumo físico:

Transmitiendo = 2 W, Recibiendo = 0.9 W, Escuchando = 0.8 W, Durmiendo = 40 mW,

$$\begin{aligned} \text{Consumo de potencia TCP Uplink} \\ &= 0.6 \times \text{Transmite} + 0.2 \times \text{Escucha} + 0.2 \times \text{Recibe} + 0 \times \text{Duerme} \\ &= 0.6(2W) + 0.2(0.8W) + 0.2(0.9W) = 1.54W \end{aligned}$$

El rendimiento del consumo de potencia debe medir la eficiencia energética del sistema de la red cuando está en transferencia de datos. Es decir, se mide la cantidad de la batería para enviar una cantidad determinada de datos. La unidad de la métrica es W / Mbytes / seg, o equivalente, Julios / MByte. Cuanto menor sea la métrica, más eficiente el sistema es, y más larga la vida de la batería se espera. También se tiene en cuenta el hecho de que un escenario típico de uso de aplicaciones como la navegación Web es una mezcla de escenarios de uso de

base (inactivo la mayor parte del tiempo, el tráfico TCP más descendente que ascendente). Así, la métrica debe ser una media ponderada del consumo de energía cuando el sistema está inactivo y cuando el sistema de es la transferencia de datos. Una hipótesis de promedio de 70% de inactividad, el 20% DownLink de datos TCP y el 10% de enlace ascendente de datos TCP que se supone. En concreto, la métrica es:

$$\begin{aligned}
 \text{Métrica de rendimiento} &= \frac{\text{Total de potencia consumida}}{\text{Velocidad de transeferencia de datos}} \\
 &= \frac{0.7 \times \text{Asociacion y IdlePower} + 0.2 \times \text{TCPDownlik Power} + 0.1 \text{TCPUplink power}}{0.2 \times \text{TCPDownlink Throughput} + 0.1 \times \text{TCPUplink Throughput}} \\
 &\times \frac{8\text{bits}}{\text{byte}}
 \end{aligned}$$

6.1.9 Escalabilidad

La escalabilidad es esencial para el éxito del despliegue de dichas redes. La evolución hacia una gran red compuesta de nodos con recursos limitados no es sencilla y presenta muchos desafíos que todavía están por resolver en ámbitos tales como direcciones, rutas, la gestión de localización, gestión de la configuración, la interoperabilidad, la seguridad, de alta capacidad inalámbrica tecnologías, y así sucesivamente. (Jennifer Liu 2009)

Se buscan mecanismos que permitan que el número de usuarios de la red se incremente y que la red continúe suministrando el nivel de servicio que se espera sin degradarse ni colapsar la operatividad de la red.

Esta propiedad es anhelada en una red Ad Hoc, ya que muestra su destreza para operar el incremento continuo de trabajo con fluidez, o muestra la preparación que tiene para crecer manteniendo su calidad en todos los servicios. Generalmente podemos definir la escalabilidad como la capacidad que tiene la red de modificar su configuración o su tamaño, para ajustarse a los cambios. Al tratar de definir la escalabilidad como una propiedad de este tipo de redes resulta un poco complicado, específicamente se hace necesaria la definición de algunos requerimientos particulares de la escalabilidad en las dimensiones que se considere de gran importancia. A un sistema pasa a ser lo que se le llama escalable cuando su rendimiento es mejorado, al sumarle capacidad hardware y este mejora en proporción a la capacidad añadida.

La escalabilidad de un sistema se puede medir en distintas dimensiones, como:

- Escalabilidad en carga. Esto se hace más fácil mediante un sistema distribuido, podemos ampliar y reducir los recursos con mayor facilidad para adecuar las cargas ya sean pesadas o ligeras según sea necesario.
- Escalabilidad geográfica. Un sistema es escalable geográficamente cuando su uso y sus ventajas se conservan sin que afecte la distancia de los usuarios.
- Escalabilidad administrativa. Este debe de manejarse con facilidad sin importar las organizaciones que necesiten compartir un solo sistema distribuido.
- Escalada horizontalmente. Quiere decir que se agregan más nodos a un sistema. Ejemplo, agregar una nueva computadora a un programa de aplicación.

6.2 ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

Un control de potencia de adaptación en la capa física puede ayudar a conservar la batería la vida de los nodos. En la capa de enlace de datos, la conservación de la energía puede ser lograda mediante el uso de sistemas de distribución eficaces. Para maximizar la vida útil de una red Ad Hoc, los protocolos de enrutamiento podría introducir períodos de sueño de manera que los nodos puedan dejar de transmitir y/o recibir por períodos de tiempo arbitrario sin causar graves consecuencias en el funcionamiento de la red. (Krunz 2008)

Se han investigado estrategias para la conservación de la energía en los diferentes niveles de los terminales móviles:

- Capa física. Actualmente se han hecho avances en hardware a nivel de circuito en la optimización de la potencia. Pantallas y CPUs que consumen poca potencia o algoritmos computacionales eficientes en consumo de potencia son algunos ejemplos. Otros trabajos han ido dirigidos a conseguir mejorar la eficacia en los componentes actuales.
- Capa de enlace. En la capa de enlace la conservación de la energía puede conseguirse usando esquemas de retransmisión efectivos y operación en modo sleep. La capa de enlace detecta errores en la transmisión y retransmite los paquetes necesarios. En las redes ad hoc, debido a la presencia de movilidad o interferencia de canal, los errores de transmisión

pueden ocurrir con bastante frecuencia, lo que lleva a frecuentes peticiones de retransmisión. Debido a que dichas peticiones provocan un alto consumo de energía y de interferencia, un nuevo sistema de petición de retransmisiones es necesario.

- Capa de red En las redes con cables los esfuerzos se han centrado tradicionalmente en aumentar el throughput de la red y minimizar el retardo. Elegir rutas que requieran niveles de consumo de potencia menor puede perjudicar los parámetros tradicionales que se basaban en escoger la ruta con el menor número de saltos. Transmitir con mucha potencia puede disminuir la probabilidad de pérdida de las transmisiones y por lo tanto incrementar el throughput. Sin embargo, esto puede provocar un aumento de la interferencia, bloquear enlaces, y por lo tanto puede provocar una disminución de la capacidad de la red, por lo que transmitir a baja potencia no siempre es perjudicial para la red. Desde el punto de vista de la energía, las redes ad hoc necesitan protocolos que maximicen la vida de todos los nodos y con ello maximizar el tiempo antes de que la red se subdivide, es decir, se dé el caso en que dos nodos no se puedan comunicar entre sí ya que los nodos intermedios necesarios para establecer la comunicación tengan su batería agotada.

En un entorno móvil, dispositivos portátiles cuentan con limitados recursos energéticos, ya que son alimentados por baterías. Las funcionalidades de potencia de gestión son por tanto muy importante tanto en la infraestructura de base y en el modo Ad Hoc. Obviamente, en el modo Ad Hoc, es decir, dentro de un IBSS, de ahorro de energía las estrategias deben ser totalmente distribuidas en fin de preservar la auto-organización de la naturaleza de la IBSS.

6.2.1 Control eficiente de la topología para la potencia (Xiang-Yang Li 2009)

La técnica de control de la topología, es permitir que cada dispositivo inalámbrico localmente ajuste su rango de transmisión y seleccione algunos vecinos para la comunicación, al tiempo que mantiene una estructura que pueda apoyar la eficiencia energética y mejorar el enrutamiento global de rendimiento de la red. Al permitir a cada nodo la disminución de su potencia (que es generalmente mucho menor que la máxima de potencia transmisión) suficiente para cubrir los vecinos más lejanos, con la topología de control no sólo puede ahorrar energía y prolongar la vida de la red, si no también puede mejorar el rendimiento de red a través de la mitigación nivel medio de contención MAC. A diferencia del tradicional cable de redes y celulares, los dispositivos móviles son a menudo en movimiento durante la comunicación, que podría cambiar la topología de la red en cierta medida. Por lo tanto, es más difícil de diseñar un algoritmo de control de topología de redes inalámbricas Ad Hoc: la topología debe ser local y auto-adaptable mantenerse sin

que afectan a la totalidad de la red, y el coste de comunicación durante mantenimiento no debe ser demasiado alto.

Se proponen dos algoritmos para la construcción de la energía eficiente de las estructuras de rutas homogéneas en redes Ad Hoc, donde todos los nodos tienen el mismo máximo de transmisión. La primera estructura tiene las siguientes propiedades atractivas y límites para el nodo de menor grado.

Método:

- Eficiencia energética: Es un camino que conecta a la estructura a cualquiera de los nodos (u,v) con potencia total de costes no más veces la potencia de coste de cualquier ruta de conexión en la red homogénea. La eficiencia energética, para el primer método está dada por:

$$\rho = \frac{1}{1 - \left(2\text{sen}\frac{\pi}{k}\right)^\beta}$$

- Grado del nodo: El grado del nodo es limitado por una constante positiva K , si $k + 5 > 6$; es un parámetro ajustable
- Estructura Plana: Permite usar varios algoritmos de enrutamiento ya que en este tipo de topología la red no presenta jerarquías y todos los nodos presentan funciones iguales en cuanto al enrutamiento. Las topologías planas en las redes Ad Hoc funcionan adecuadamente cuando las redes son de un tamaño relativamente pequeño. En este caso el enrutamiento se puede llevar a cabo de una manera óptima y el consumo de potencia es bajo, Puede ser construida y mantenida en caminos locales, su identificación y posición puede ser identificada en:

$\sigma(\text{Log } n)\text{bits, para una red inalámbrica de } n \text{ nodos}$

Experimentalmente evaluar el desempeño de estas nuevas topologías de red de energía eficiente se corroboran por las simulaciones:

- Estructuras más eficientes y fáciles de construir
- Disminución de rango en la transmisión de cada uno de los nodos, para lograr comunicación con el nodo más lejano.

- Menor número de vecinos, identifica menor interferencia en cada nodo inalámbrico

La técnica de control de topología es permitir que cada dispositivo inalámbrico ajuste localmente su rango de transmisión y seleccione algunos vecinos para la comunicación, al tiempo que mantiene una estructura que pueda apoyar eficiencia energética y mejorar el enrutamiento global para el rendimiento de la red. Al permitir a cada nodo inalámbrico en su transmisión autoajustares para la potencia adecuada (que es generalmente mucho menor que la máxima potencia de transmisión) suficiente para cubrir los vecinos seleccionados, hasta el mas lejano; La topología de control no sólo puede ahorrar energía y prolongar la vida de la red, también puede mejorar el rendimiento de la red a través de la mitigación del nivel medio de contención MAC. Los dispositivos móviles son a menudo en movimiento durante la comunicación, que hace cambiar dinámicamente la topología de red, Por lo tanto, es más difícil de diseñar un algoritmo de topología de control en redes inalámbricas Ad Hoc: la topología debe ser auto-adaptable y hacer que no afecte en totalidad la red y el coste de comunicación durante el mantenimiento no debe ser demasiado alto.

Se propone un algoritmo local para construir una limitación en el grado en la estructura plana, tanto en forma centralizada y distribuida, que se basa en la localización de las triangulaciones de Delaunay, La base del diseño es la disminución del rango de transmisión de cada uno de los nodos para así lograr llegar al vecino más lejano en las nuevas estructuras.

Orden en que se soluciona el objetivo, para algoritmos eficientes en energía, para las topologías dinámicas en redes Ad Hoc:

- Por que se prefiere el protocolo de control de topologías en redes Ad Hoc, presentación de los dos métodos
- Construir las estructuras planas y limitar los grados, en virtud al modelo de radiodifusión
- Simulaciones para resultados
- Resultados
- Modelos de la red

Una red inalámbrica Ad Hoc, consta de un conjunto V , de n nodos inalámbricos distribuidos en un plano bidimensional, cada nodo tiene el mismo rango de transmisión máxima R , mediante una adecuada escala suponemos que todos los nodos tienen el mismo rango de transmisión igual a una unidad. Estos nodos definen una unidad de disco gráfica $UDG(V)$, la distancia euclidiana es de un máximo de uno, en otras palabras asumo dos nodos que pueden siempre recibir la señal uno al otro directamente siempre que la distancia euclidiana entre ellos no sea mayor a uno. En lo sucesivo $UDG(V)$ siempre estará conectado, se supone que todos los nodos tienen identidades y cada nodo conoce su posición ya sea a través de un GPS o algún otro receptor. Más concretamente, en nuestro protocolo, sería suficiente que cada nodo supiera la posición relativa de sus vecinos; La posición relativa de sus vecinos puede ser estimada por la dirección de llegada de la señal y la fuerza de la señal. Por un salto de radiodifusión, cada uno de los nodos puede reunir la información sobre la ubicación de todos los nodos dentro de su rango de transmisión.

En el más común es el modelo de potencia de atenuación, la potencia soporta enlaces (u, v) asumiendo $\|uv\|^\beta$ donde $\|uv\|$ es la distancia euclidiana entre u y v , β es una constante real entre 2 y 5 dependiendo de la transmisión inalámbrica dentro del medio ambiente.

La topología de control en las redes inalámbricas Ad Hoc, tienen como propósito mantener una estructura que pueda ser utilizada para el enrutamiento eficaz, o mejorar el rendimiento global de la red; las siguientes características deseables son la preferencia en este algoritmo en redes inalámbricas Ad Hoc:

- **Potencia Spanner:** Los nodos pueden comunicarse unos con otros a través de la retransmisión de nodos intermedios, por lo que cada nodo solo necesita establecer pequeños rangos de transmisión, eso tiene dos ventajas.
- **Reduce el rango de transmisión**
- **Ahorra energía para la transmisión** Para garantizar que la topología de red sea potencialmente eficiente, el total de consumo de energía de la ruta más corta entre dos nodos en la topología final podría no exceder un factor constante del consumo de energía en el menor camino de la red original, dada la ruta $v_1, v_2 \dots v_k$, conectando dos nodos, el costo de la energía en esta ruta es:

$$\sum_{j=1}^{k-1} \|v_j v_{j+1}\|^\beta$$

La ruta con el menor coste de la energía se denomina el camino más corto en un grafo. Formalmente hablando el subgrafo H es llamado potencia spanner del grafo G , si existe una constante real positiva ρ tal que para cualquiera de los dos nodos la potencia consumida en el camino más corto en H es en la mayoría ρ de las veces el consumo de energía en la ruta más corta en G , la constante ρ es llamada factor de potencia de alargamiento. Power Spanner es usualmente energía eficiente para el encaminamiento. Obviamente para cualquier ponderado del grafo G y el subgrafo $H \subseteq G$

El subgrafo H del grafo G es el factor de alargamiento ρ si y solo si hay un enlace $uv \in G, d_h(u, v) \leq \rho d_G(u, v)$, donde $d_G(u, v)$ es la potencia total consumida del camino mas corto entre u y v en G

Para generar una estructura eficiente de energía, no solo se debe garantizar que cualquiera de los dos nodos adyacentes u y v en G sea conectado por el camino en H , con costo de energía no mayor que el factor constante del costo del enlace uv .

- Delimitar el grado

Es conveniente que el grado del nodo construido para la topología sea pequeño y limitado por una constante, el bajo grado del nodo, reduce el nivel de contención MAC e interferencia, basándome en Bluetooth para la red inalámbrica Ad Hoc, el grado del nodo maestro se prefiere sea inferior a 7, de acuerdo con las especificaciones de esta tecnología para una eficiencia máxima, además una estructura con grado menor mejora el rendimiento de la red en total.

- Plana

Muchos algoritmos de enrutamiento requieren de una topología plana garantizando la entrega de mensajes como prioridad en el enrutamiento.

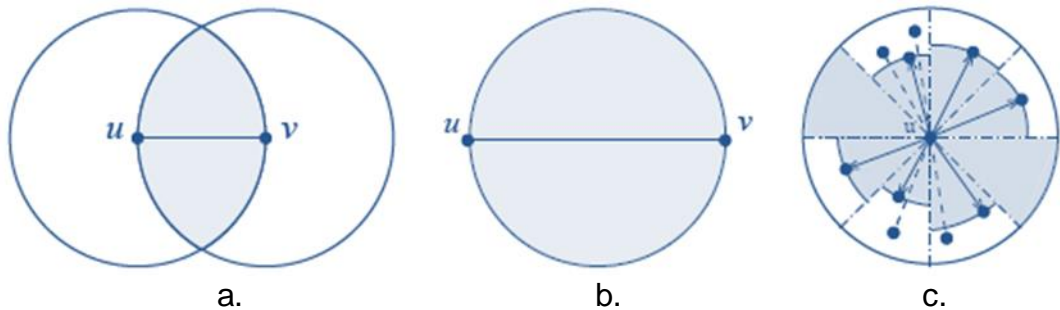
- Eficiente construcción de localización

Debido a la limitación de recursos y la alta movilidad de los nodos, es preferible que las topologías de la red puedan ser construidas y sostenidas en forma localizada. Aquí la construcción de un algoritmo distribuido en G es el algoritmo localizado si cada nodo u puede decidir exactamente todos los bordes incidentes en u , basándose únicamente en la información de todos los nodos dentro de una constante de salto u . El momento de complejidad de cada nodo es cuando ejecuta el algoritmo en la mayoría de $\sigma(d \log d)$., donde d es el número de 1-salto o 2-saltos vecinos.

Están planteadas varias estructuras (como gráfico de vecindad relativo RNG, donde se ha propuesto al gráfico GG, la estructura Yao) para la topología de control en las redes inalámbricas Ad Hoc. El gráfico de vecindad relativo esta dado por $RNG(V)$ que consiste en todos los bordes uv tal que la intersección de dos círculos centrados en u y v con Radio $\|uv\|$ no contiene ningún vértice w para el espacio V .

El $GG(V)$ Contiene el borde uv si y sólo si el $disk(u,v)$ no contiene ningunos otros puntos de V , donde el $disk(u,v)$ es el disco con el borde uv como diámetro. Vea la figura 24 a). Note $GG(UDG)$ y $RNG(UDG)$ como la intersección de $UDG(V)$ con $GG(V)$ y $RNG(V)$ respectivamente. Desde $GG(UDG)$ y $RNG(UDG)$ están conectados en el plano y contienen el Euclidiano Mínimo que atraviesa árbol MST de V si UDG es conectado. La triangulación Delaunay, denotado por Del , también es usado como estructura subyacente según varios protocolos de encaminamiento. Aquí un triángulo Δuvw que pertenece a la triangulación Delaunay si su semicírculo no contiene ningún nodo adentro, deja a $Del(UDG)$ ser el conjunto de bordes en Delaunay, Esto también en UDG . $RNG(UDG) \subseteq GG(UDG) \subseteq Del(UDG)$, ha delimitado el coeficiente de radio que abarca, tanto $RNG(UDG)$ y $GG(UDG)$ estos no siendo tensión de longitud; y $GG(UDG)$ denotados para potencia eficiente. El gráfico de Yao con un parámetro entero $k > 6$, denotado por $YGk(UDG)$, es definido en cada nodo u , cualquier k igualmente separados originando rayos en u definiendo K conos en cada cono, se escoge el borde más corto $uv \in UDG(V)$.

Figura 24 Definiciones de RNG, GG, YG



(Xiang-Yang Li 2006)

Los gráficos RNG y GG, son usados como subyacentes topologías de red, demostrando que el factor de longitud del tramo de estos dos gráficos son $\Theta(n)$ y $\Theta(\sqrt{n})$ respectivamente o $n-1$ y $\sqrt{n}-1$, Se demuestra que el factor de potencia de alargamiento es $n-1$ mientras que el factor de potencia de alargamiento de GG es 1. Recientemente, algunos investigadores proponen para la construcción de la topología de red inalámbrica basarse en el gráfico de Yao. Se sabe que la longitud/potencia de alargamiento y el grado del nodo del gráfico de Yao están delimitados por unas constantes positivas. Sin embargo, en estos tres apartados

no se puede garantizar el delimitado del grado, proponiendo que se utilice otra topología como la Yao y Sink que tiene constante el grado y delimitada la constante de longitud/ factor de tramo de potencia, sin embargo no se garantiza que tengan una estructura plana, se propone la localización de las triangulaciones de Delaunay y se restringe el grafico de Delaunay para redes inalámbricas Ad Hoc, pero Lamentablemente, podría dar lugar a un nodo de grado sin límites.

En relación con el gran costo de la comunicación y el posible valor del grado del nodo, Se proponen un método de comunicación para la estructura plana y energía eficiente con pequeños-grados delimitados, que son más prácticos en redes inalámbricas Ad Hoc, la construcción de el segundo método solo necesita $3n$ mensajes, la desventaja es que teóricamente las estructuras no tienen relación constante de la longitud que abarca.

- Criterios propuestos

Se propone un método para poder construir una estructura plana y eficiente, con menores costos de comunicación y nodo de menor grado, comparada con la anterior estructura llamada BPS; Antes de presentar los dos métodos, se va a ver la estructura GG para redes inalámbricas homogéneas Ad Hoc.

Algoritmo 1. Construcción GG

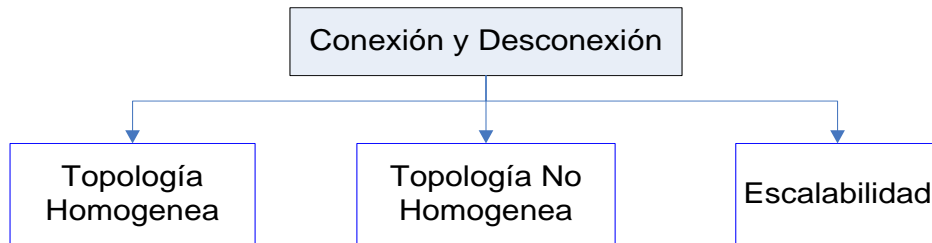
- En un principio, cada nodo u emite un mensaje con ID_u , y su posición (x_u, y_u) a todos los nodos en el rango de transmisión. Cada nodo u inicialmente establece $EUDG(u)$ y $EGG(u)$ vacíos, aquí $EUDG(u)$ y $EGG(u)$ son el conjunto de enlaces conocidos por u en UDG y GG respectivamente.
- Al mismo tiempo, cada nodo u procesa las llegadas de mensajes. Asume que el nodo u obtiene un mensaje para cada nuevo nodo v , a continuación se añade un enlace uv para $EUDG(u)$.

Nodo u comprueba si hay otro enlace $uw \in EUDG(u)$ donde $w \in disk(u, v)$. Si no existe enlace uw , entonces añade uv para $EGG(u)$. Por otro lado, para cualquiera de los enlaces $uw \in EGG(u)$, el nodo u comprueba $v \in disk(u, w)$, si tiene condición, entonces u remueve el enlace uw para $EGG(u)$. El nodo u repite este paso hasta que no se reciban nuevos mensajes. Todos los enlaces uv en $EGG(u)$ son el enlace final en $GG(UDG)$ incidente sobre u .

6.3 DISEÑO DE LOS ESCENARIOS

Esta investigación realiza el análisis de tres problemas como limitantes de potencia de transmisión de datos en redes Ad Hoc móviles, seleccionados según las tramas de paquetes de control, donde la conexión y desconexión de los nodos dentro de la red causan el problema primordial a representar como limitante de potencia para una red Ad Hoc, ya que se explica el protocolo requerido para la conexión y desconexión de los nodos, el cual causa pérdidas de potencia debido al protocolo de handshaking y el proceso de retransmisión de datos.

La conexión y desconexión de nodos es generada por la topología variable característica de las redes inalámbricas Ad Hoc, se representan las topologías existentes, la topología homogénea y la no homogénea (Asimétrica) el cual se integra como problema para establecer la comunicación; Otra característica de las redes Ad Hoc es la entrada de nuevos nodos a la red, cuando esto ocurre, se modifican las rutas y se incrementa el tiempo y el numero de "saltos" aumentando la potencia de la red. Es así como se selecciona el problema de conexión y desconexión y los tres escenarios a diseñar.



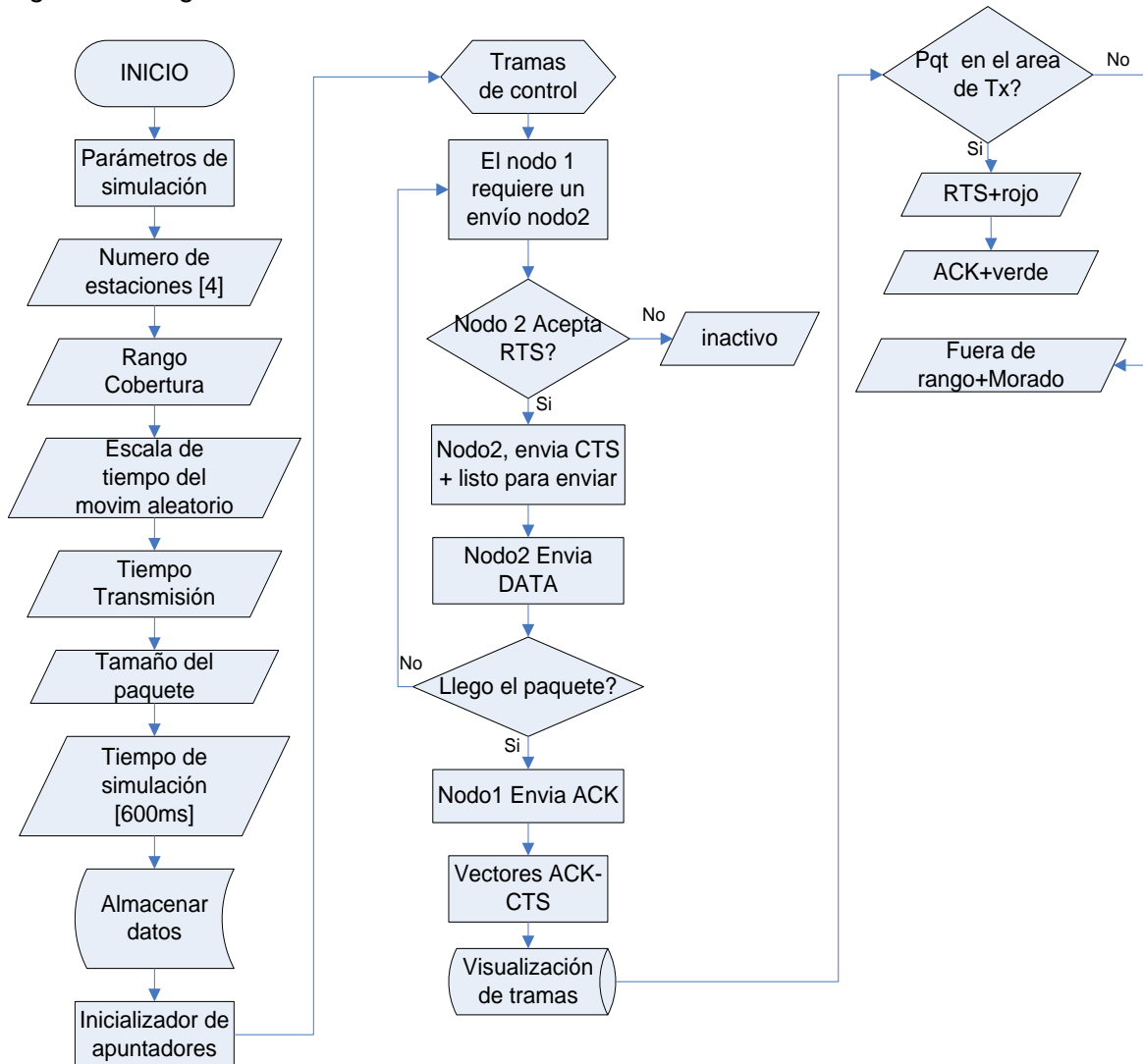
Se realiza un diseño de los tres escenarios para un espacio de (200 x 200) metros, con un área libre de obstáculos que puedan causar interferencias y absorción de la señal.

Tabla 6 Configuración de los parámetros de medición

Parámetro	Evaluar
Modo de trabajo	Ad Hoc
Canal Numero	6
TX/RX Diversidad	Proveedor-Cliente
Modulación	(CCK)
Modo de potencia	STPM
Transmisión rate	1, 2, 5.5, 11 MBit/s
Tamaño del paquete	64, 128, 2048, 2312 Byte
Coordinación distribuida	CSMA/CA
Emisor/ receptor distancia	Aleatorio no mayor de 200m

La comunicación se representa bajo un escenario de cuatro nodos, donde se observan los paquetes de señalamiento enviados por el Tx/Rx; Se diseña en Matlab observando gráficamente el funcionamiento de tramas de control de paquetes de datos.

Figura 25 Programación de tramas de control



Se diseña por medio de bloques funcionales, donde se describe el entorno, asumiendo momentos discretos en el tiempo, donde los estados son de conexión o desconexión, creando un entorno de movilidad en el escenario y un comportamiento de ellos en el tiempo, esto ocurre convirtiendo a vectores las posiciones ordenadas de cada nodo generando (x, y).

Figura 26 Diseño de movilidad de los nodos móviles

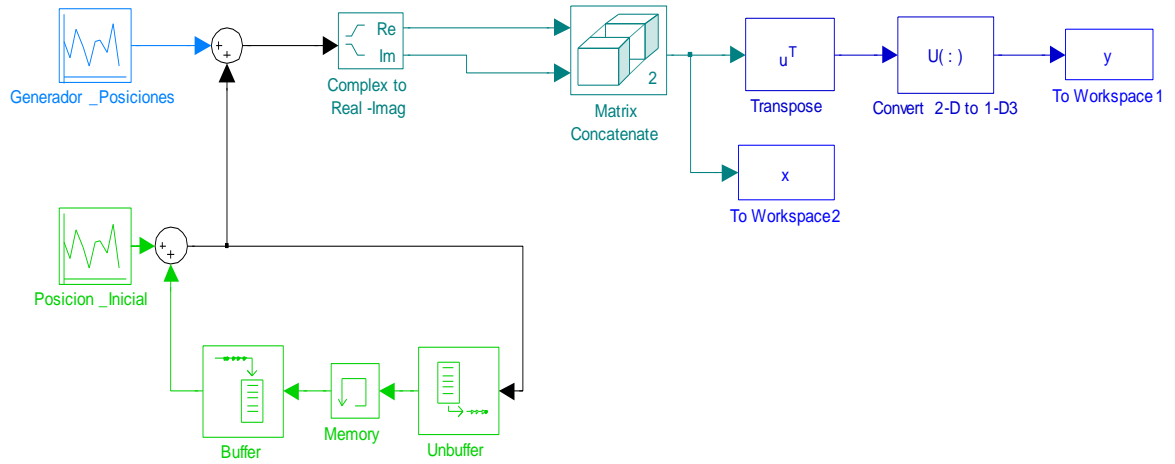
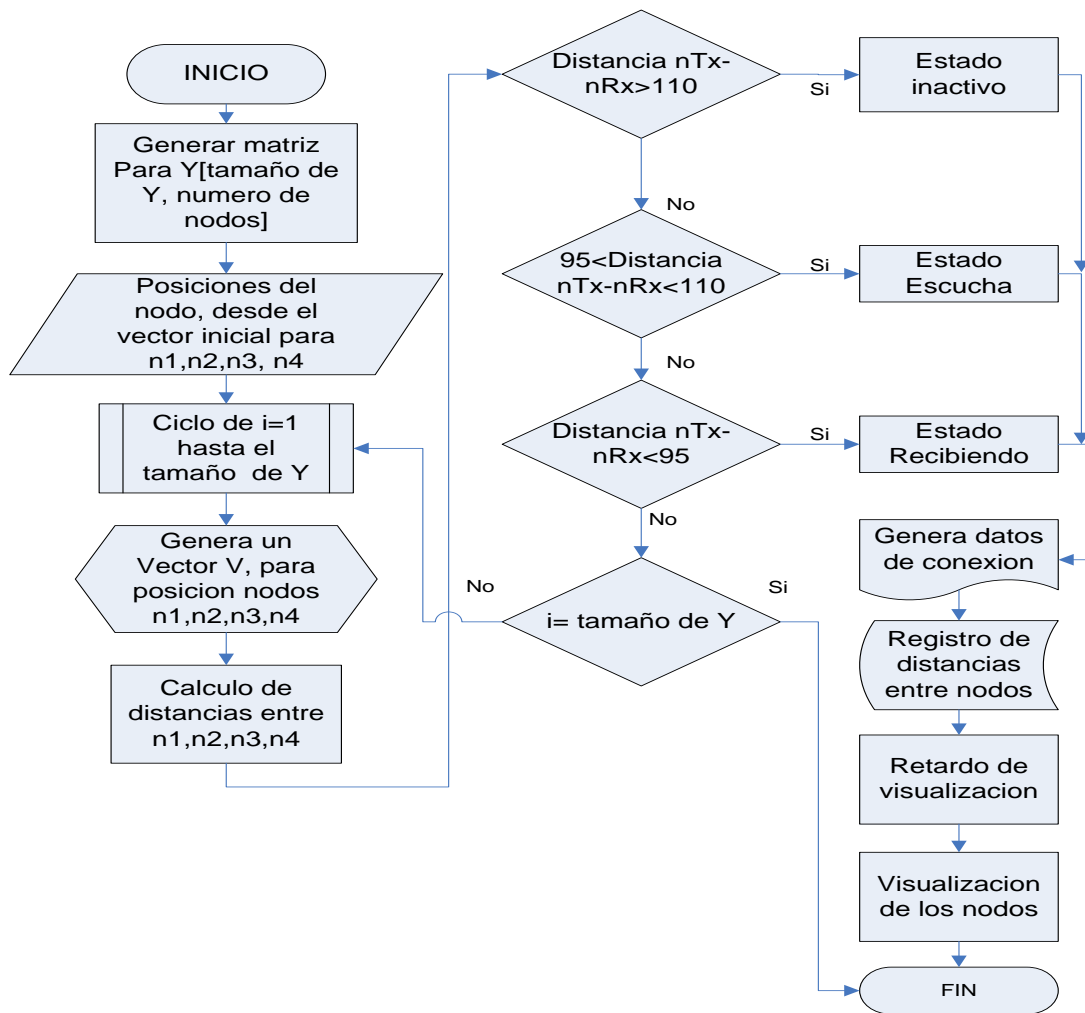


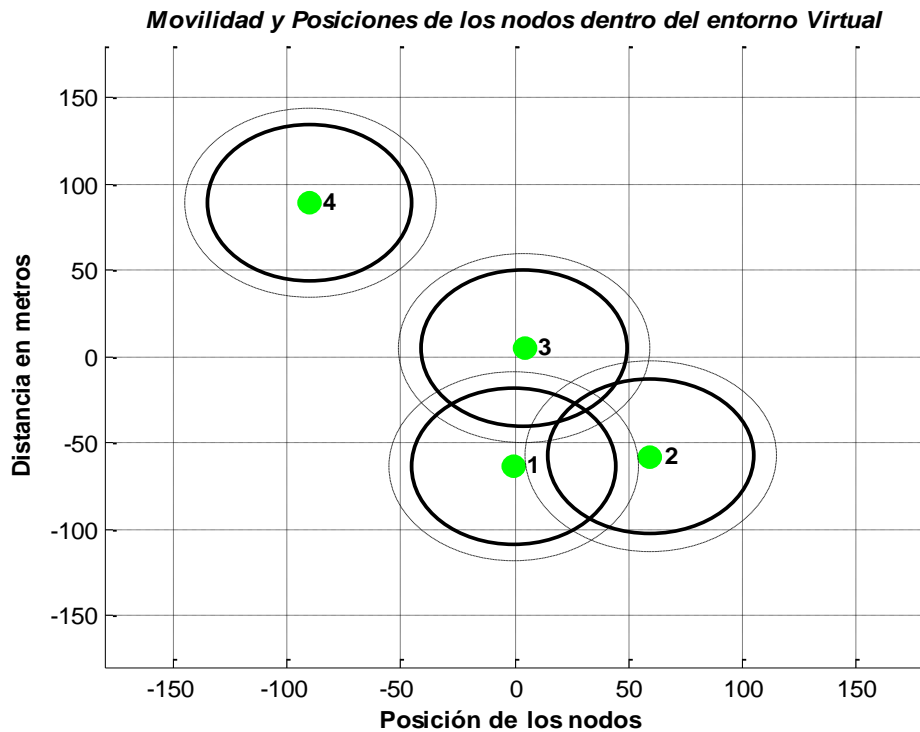
Figura 27 Diseño de escenarios en redes móviles Ad Hoc



6.3.1 Topología dinámica Homogénea

Se presenta una topología móvil homogénea, donde los dispositivos de conexión tienen características iguales: rango de transmisión (área de cobertura), la potencia que alimenta la transmisión, la potencia que cada dispositivo necesita para mantener una comunicación, la potencia que radia en el medio, fuente de energía externa (baterías), controlador WiFi soportados bajo el estándar 802.11b, nodos bajo continua variación de posición, están dentro de un área en la cual se pueden enviar y recibir tramas de control del nivel de la MAC, usando el protocolo CSMA/CA y el esquema de 4 vías de handshaking por el señalamiento de paquetes RTS/CTS, establecen un servicio básico e independiente y cada nodo puede transmitir y recibir tramas de control provenientes de cualquier nodo dentro del área de cobertura.

Figura 28 Escenario 1 para topología homogénea



El nodo 1,2 y 3 comparten su rango de cobertura, pueden compartir información entre ellos. El nodo 4 no comparte ningún enlace con ningún nodo de la red por lo tanto no comparte información, tiene un estado inactivo

Figura 29 Escenario de movilidad y posiciones de los nodos

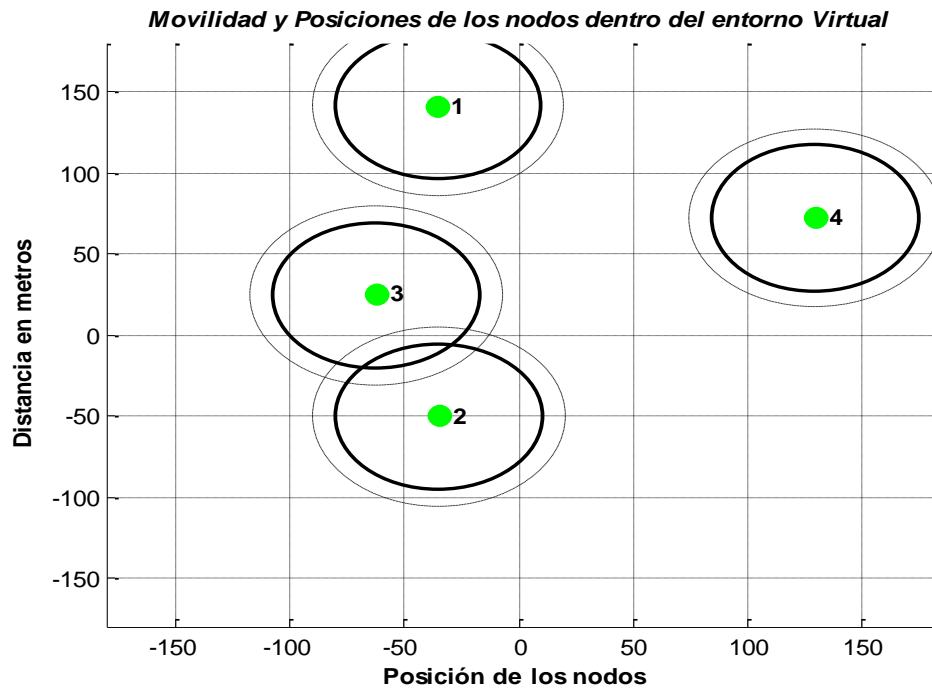
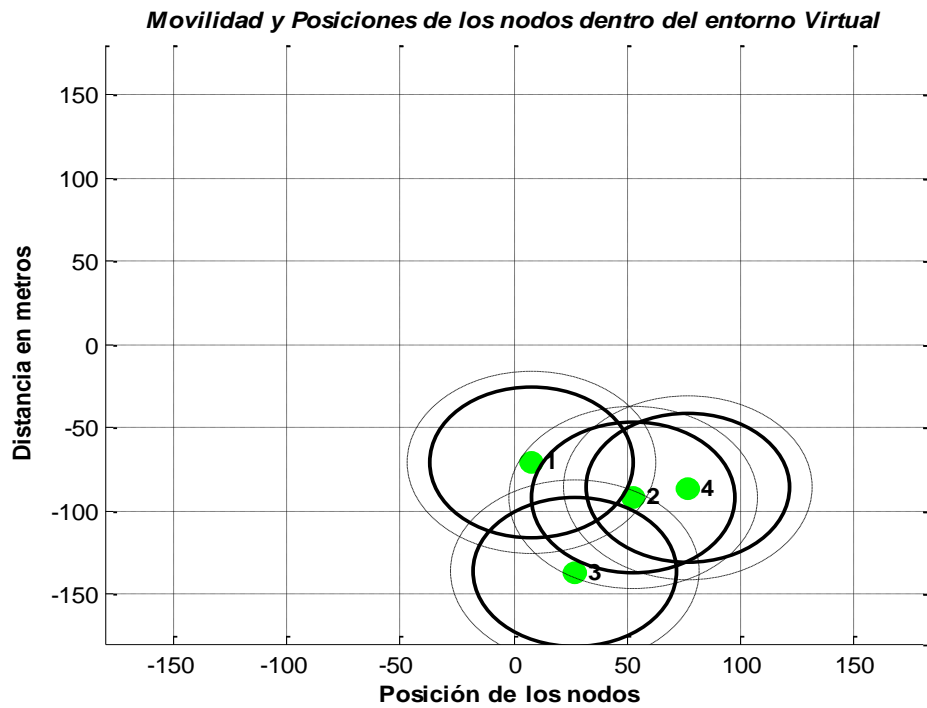


Figura 30 Todos los nodos comparten rango de cobertura

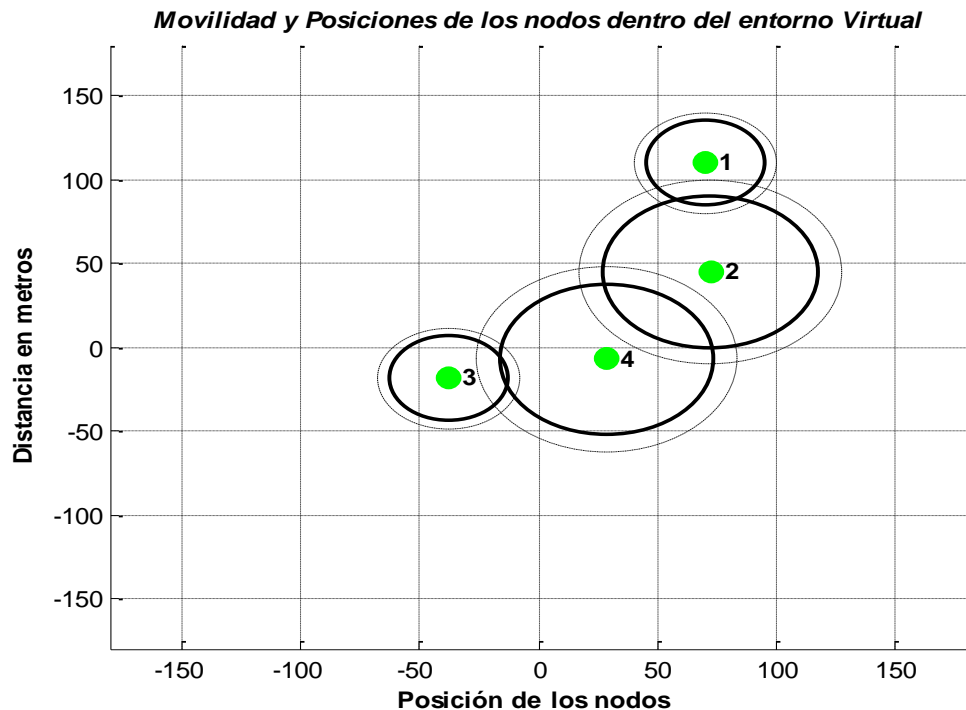


6.3.2 Topología dinámica no homogénea

Se presenta una topología móvil no homogénea, donde los dispositivos de conexión tienen diferentes rangos de cobertura, esto ocurre ya que una de las características de estas redes es abarcar diferentes dispositivos inalámbricos lo que la hace más interesante a la hora de establecer una red Ad Hoc, siendo esta la única diferencia con la topología homogénea para el diseño de este escenario con cobertura asimétrica.

Cada dispositivo de red según el diseño del fabricante, la aplicación y lo robusto que sea el hardware, crean un consumo de potencia diferente en los dispositivos, como ejemplo la conexión Ad Hoc entre un celular, un laptop y una palm, cada uno presenta un consumo de potencia diferente, debido a la plataforma del fabricante, para este escenario nos limitamos a los rangos de cobertura y observar el desempeño de la red.

Figura 31 Escenario 2 para la topología no homogénea



El nodo 1 y 3 presentan un área de cobertura (transmisión) menor en comparación a los nodos 2 y 4, entonces su área de detección será inferior también; Tienen igual movilidad por todo el escenario y pueden establecer comunicación entre ellos.

Figura 32 Nodo 1 y 3 con menor rango de cobertura

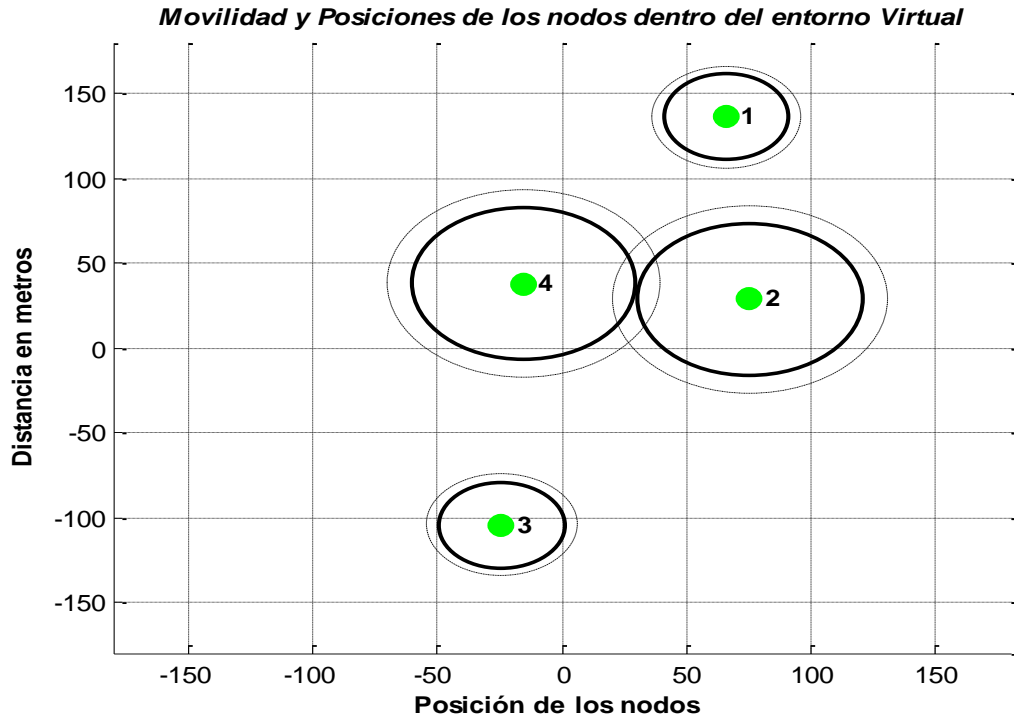
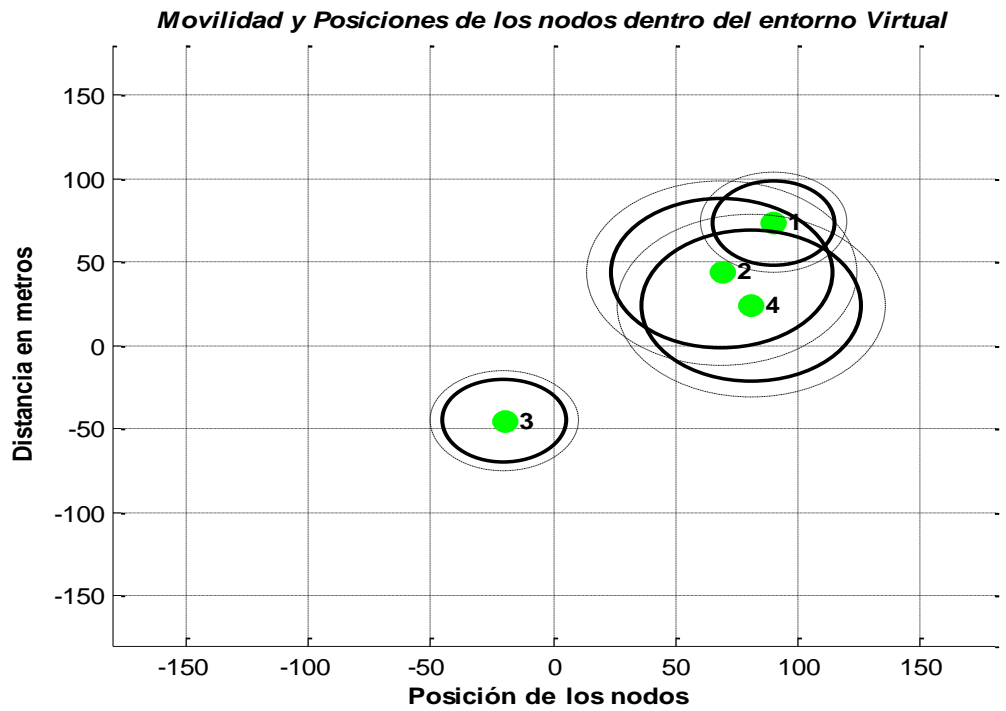


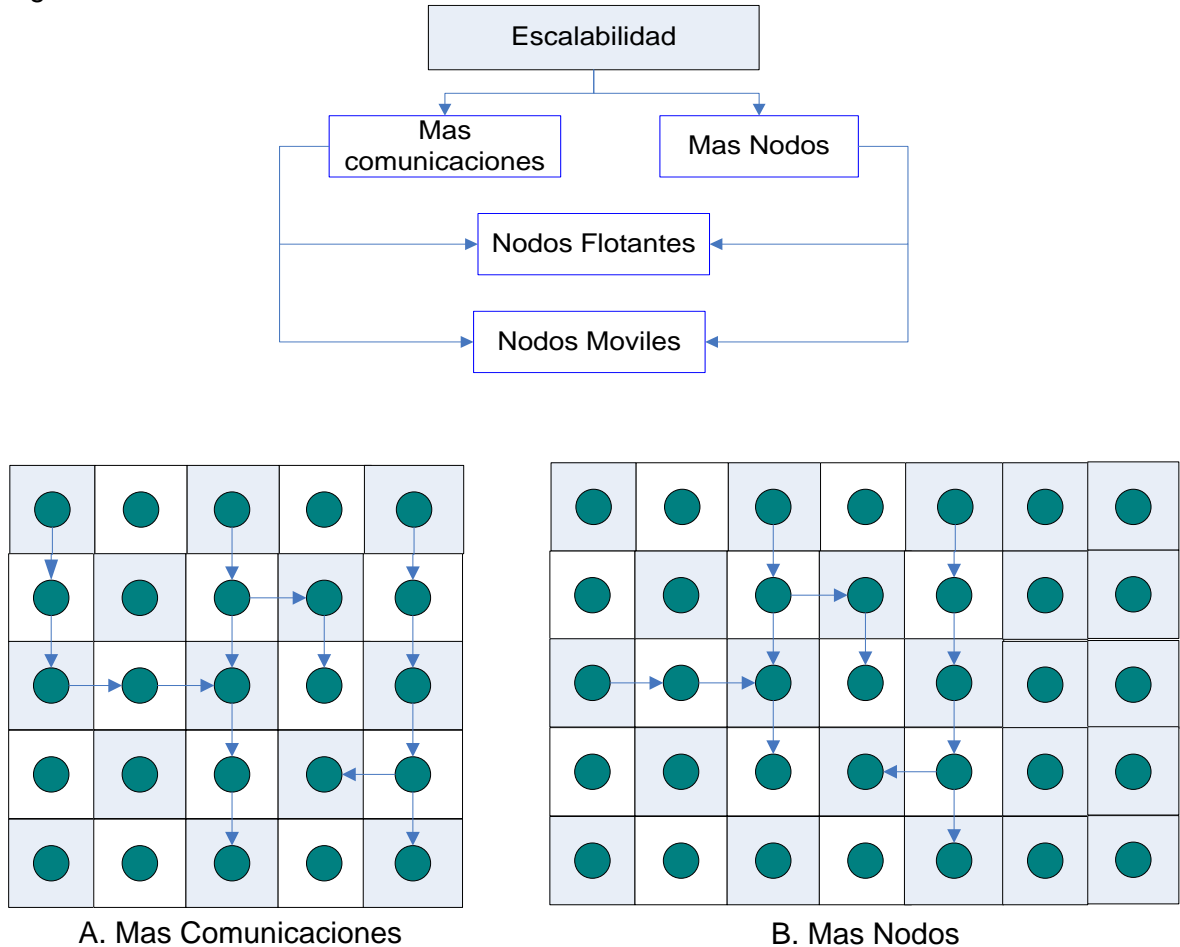
Figura 33 Los nodos 1,2 y 4 comparten su área de transmisión



6.3.3 Escalabilidad

Para escalabilidad el escenario es dinámico pero con una distribución de nodos homogénea (es decir una densidad de nodos constante por unidad de área) y se analiza que ocurre cuando se originan transmisiones desde n nodos hacia n nodos si el tamaño de la red aumenta.

Figura 34 Análisis de Escalabilidad



Cuando existen más comunicaciones y ahí mas nodos ingresando a la red, hay un incremento en los envíos de paquetes de control RTS/CTS –DATA/ACK, incrementando el consumo de potencia en la red, se crea un escenario donde se observa lo que ocurre con 20 nodos dentro del entorno de conexión y desconexión, la comunicación y el consumo de potencia en el protocolo handshaking de la red 802.11b en modo Ad Hoc.

Figura 35 Escenario de escalabilidad, con 8 dispositivos dentro del entorno

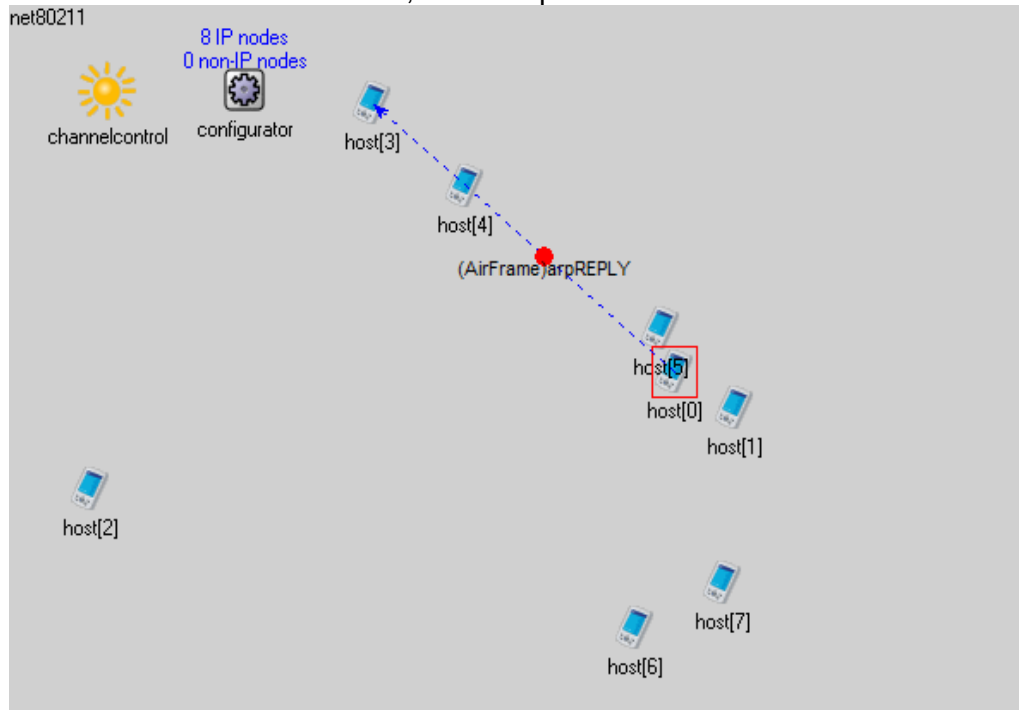
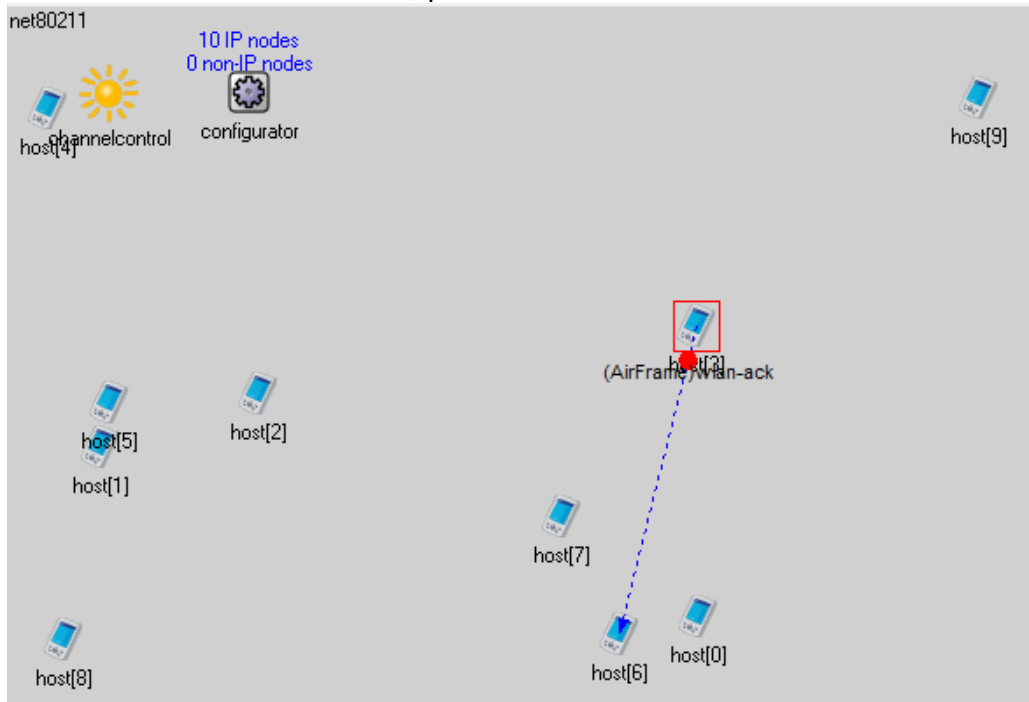


Figura 36 Escenario de escalabilidad, para 10 nodos dentro del entorno



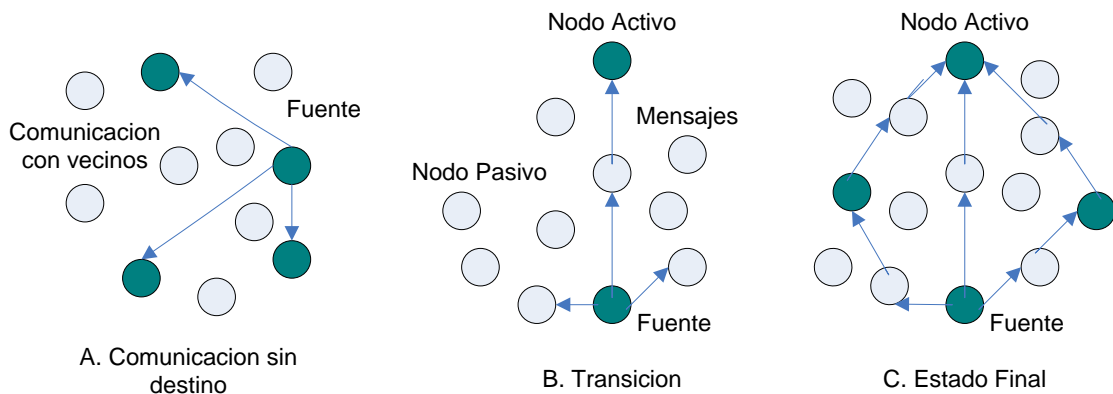
6.3.4 Escenario para la solución a la limitación de potencia

La eficiencia energética y la capacidad de la red son quizás dos de las cuestiones más importantes en las tecnologías inalámbricas Ad Hoc. Algoritmos de control de topología se han propuesto para mantener la conectividad de red al tiempo que reduce el consumo de energía y mejora la capacidad de la red. La idea clave para el control de topología es que, en lugar de transmitir con la potencia máxima, los nodos de la red inalámbrica en colaboración con el multisalto determinan su potencia de transmisión y define la topología de la red mediante la formación de la relación adecuada de vecino bajo ciertos criterios. La topología de control afecta a la reutilización de la red del territorio y lucha por el medio. Una serie de algoritmos de control de topología se han propuesto crear un uso eficiente de energía de la red, con una movilidad limitada. (Kaveh Pahlavan 2009)

En las redes inalámbricas Ad Hoc, la construcción y el mantenimiento de una topología con grados más bajos de nodo generalmente tiene por objeto mitigar la carga excesiva de tráfico en los nodos inalámbricos.

El control de topología en las redes Ad Hoc presenta el problema de ajustar la potencia de transmisión en nodos de red para alcanzar la topología óptima que maximiza el funcionamiento de red.

Figura 37 Autoconfiguración de la topología

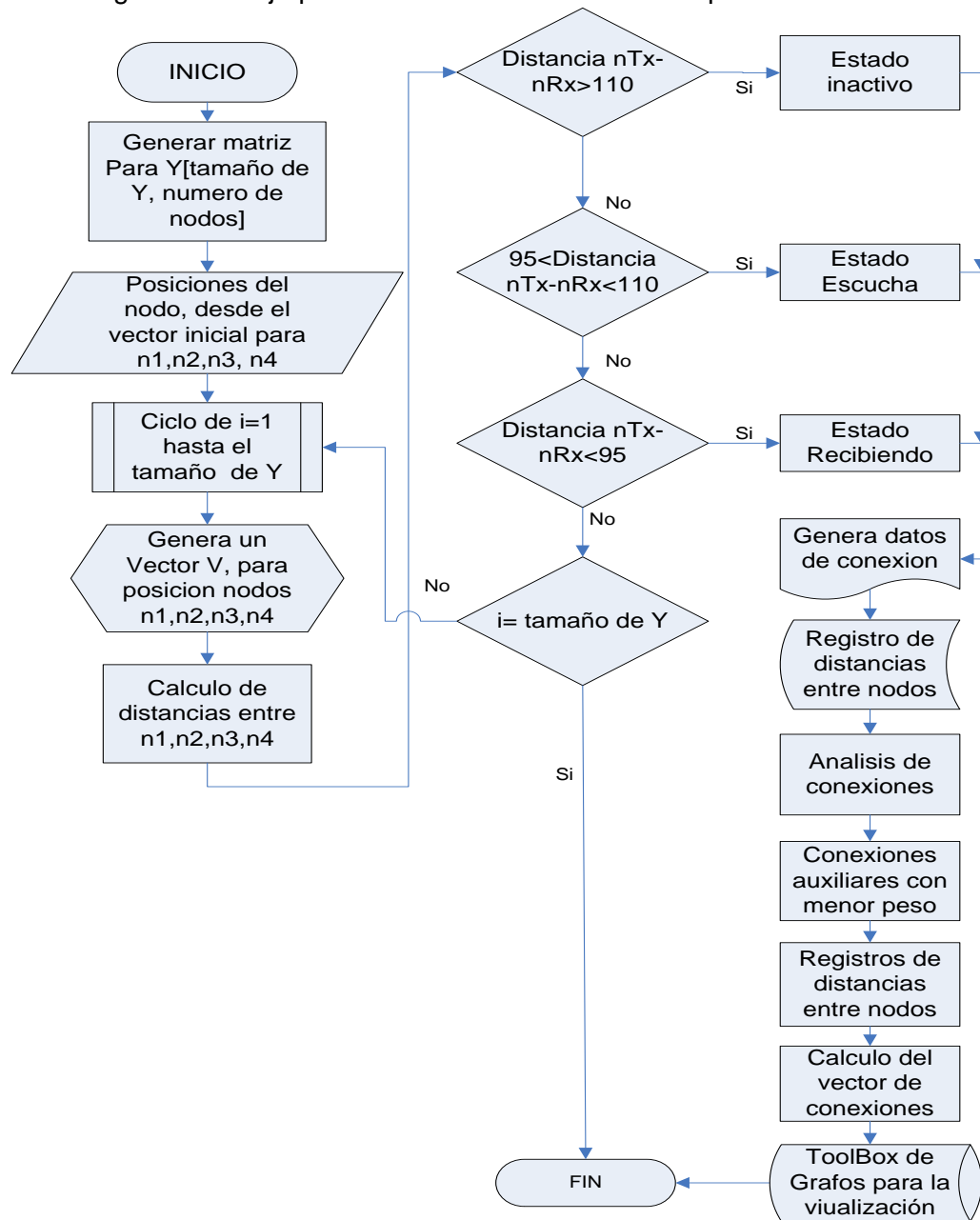


(Xiang-Yang Li 2006)

Cuando se habla de la conservación de la vida de la batería en las redes Ad Hoc es necesario mencionar que el Multihop siempre ahorra energía. La potencia necesaria para transmitir un poco de información sobre un radio es proporcional a la distancia. Si se introduce una comunicación Multihop entre dos nodos, debería haber menos energía necesaria para transmitir más cortas distancias. (Min, Chandrakasan, 2003).

El escenario de solución de potencia es soportado sobre la topología homogénea, donde se visualiza por grafos las rutas de los nodos y conexiones que presentan entre ellos, otorgando peso y jerarquizando la red para hacer un control de la topología dinámica, se crea un nodo estable, sin movilidad, estático, con un peso mayor a los otros nodos de la red que permite dar estabilidad a la red dinámica.

Figura 38 Diagrama de flujo para escenario de la solución de potencia



7. PRUEBAS Y RESULTADOS

7.1 PROBLEMAS QUE LIMITAN LA POTENCIA DE TRANSMISIÓN DE DATOS

Los problemas que limitan la potencia de transmisión de datos y sus características se clasifican así:

Tabla 7 Problemas que limitan la potencia de transmisión de datos

Problemas que afectan la potencia de transmisión de datos	Características
Colisiones	Cuando los nodos dentro de la misma área de cubrimiento envían mensajes control, que se encuentran con las tramas RTS/CTS.
Trafico	Es la cantidad de mensajes por segundo entre una fuente y un destino, el mensaje por si mismo mas la ruta.
Interferencia	El nodo está en la ruta pero no forma parte de la transmisión, o dos pares de nodos transmitiendo.
Problemas de Jamming por nodo oculto	Se requiere transmitir a un nodo que está dentro de otra área de cobertura
Transferencia de datos	Tamaño del mensaje, ajuste del nivel de potencia del modulador.
Aplicaciones (programas necesarios para acceder a un servicio)	Cantidad de recursos, que afectan el tiempo de actividad del nodo.
Entorno	Indoor- Outdoor
Baterías	Recurso externo que alimenta los nodos de la red
Topología	Conexión y desconexión, distribución irregular de los nodos, auto reconfiguración

7.1.1 Problema seleccionado Conexión y desconexión

Objetivo: Observar el envío de paquetes de control RTS/CTS DATA/ACK sobre la trama de control del protocolo handshaking del 802.11b, según el entorno de cobertura del nodo, para seleccionar el problema de conexión y desconexión como el limitante en la potencia de transmisión de datos.

Recurso: Matlab R2009a

Pasos a seguir: Se crea una topología dinámica para visualizar cuatro nodos dentro de un entorno de comunicación generando un movimiento de nodos

aleatorio y tiempos para la transmisión de la trama, esto si comparten el rango de cobertura, almacena los datos y según el apuntador envía los paquetes, RTS requiriendo un envío a su nodo receptor, CTS aceptando el envío, ACK cuando el paquete llega y es correcto, todo esto dependiente de la posición del nodo dentro del entorno de movilidad.

Resultados esperados: Cuando dos nodos comparten el rango de cobertura el nodo emisor envía una trama de control RTS (línea de color rojo) al nodo receptor, este nodo si acepta el requerimiento debe enviar un paquete CTS, si el paquete llega a su destino y es correcto envía un paquete ACK (Color verde), cuando el nodo sale del rango de cobertura está enviando tramas de control y se observa el nodo fuera del rango (la línea de color morado).

Resultados Obtenidos: Se logra visualizar las tramas del protocolo 802.11b para un entorno con cuatro posibles nodos comunicándose, obteniendo los resultados esperados.

Conclusiones: El problema seleccionado es la conexión y desconexión por causa de las tramas de control mensajes en el protocolo 802.11b, con esta simulación se logra observar lo que ocurre con los envíos dependientes del rango de cobertura de cada dispositivo, observando que la topología dinámica es la causante de las pérdidas de paquetes y los constantes envíos de requerimiento entre los nodos de la red incrementando el consumo de potencia en la red, ya que el cambio de estados del nodo lo ocasiona.

Figura 39 Prueba de envío de paquetes RTS-(requerimiento de un envío)

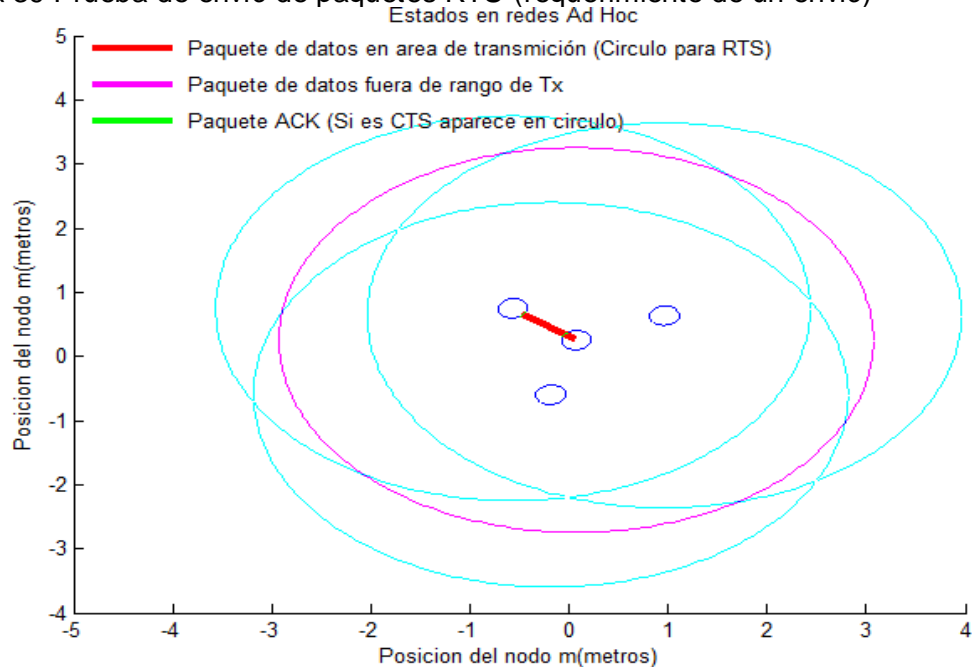


Figura 40 Prueba de envío de paquetes ACK (Acknowledgement)
Estados en redes Ad Hoc

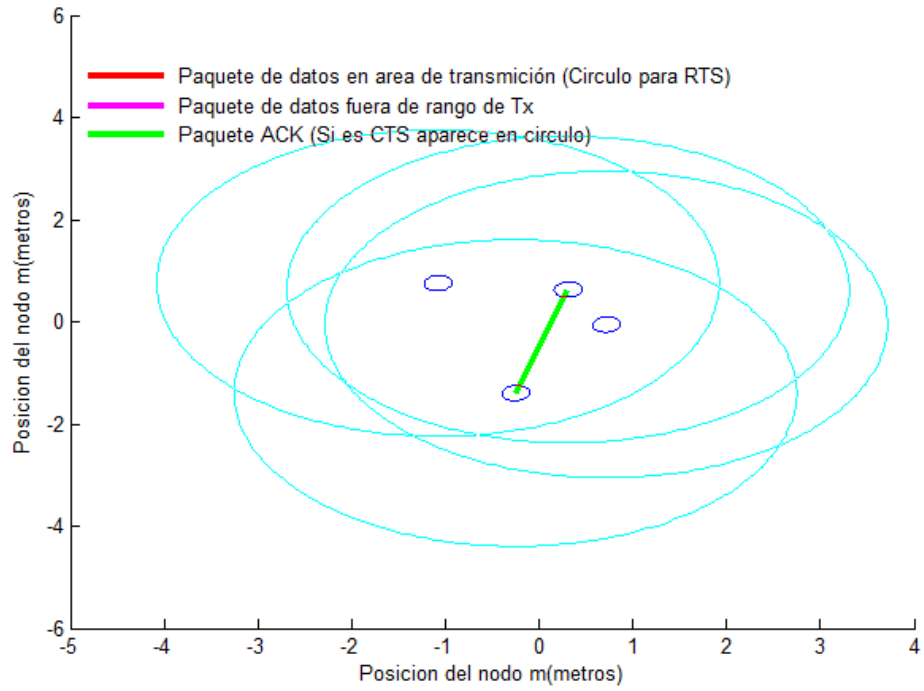
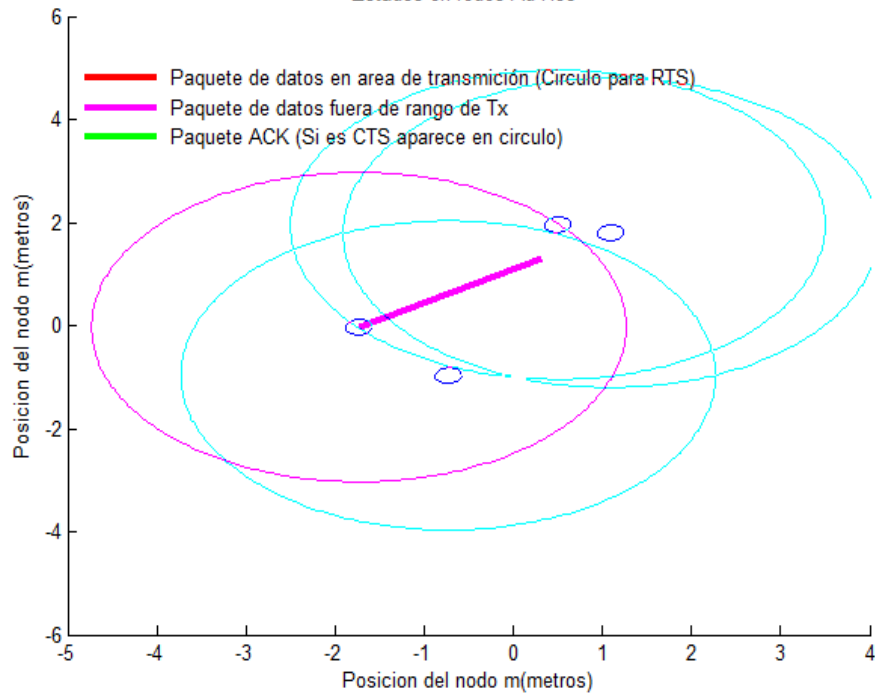


Figura 41 Prueba de un paquete enviado fuera de rango de cobertura
Estados en redes Ad Hoc



7.2 Resultados De Los Escenarios Diseñados

7.2.1 Resultados de la topología homogénea

Objetivo: Observar como la topología dinámica homogénea es un limitante de potencia de transmisión de datos según los estados de conexión de los nodos de la red.

Recurso: Matlab R2009a

Pasos a seguir: Se utiliza un toolbox para la movilidad de los nodos dentro de la red, generándose un vector para las posiciones de cada uno de ellos, calculando las distancias entre nodo transmisor y el nodo receptor llevando un registro a visualizar, para determinar cuál fue el rango de cobertura entre los nodos que establecen la comunicación, si la distancia entre el nodo Tx y Rx es mayor a 110 los nodos están en un estado inactivo, si $95 < \text{distancia nTx-nRx} < 110$ el estado es de escucha, si $\text{distancia nTx-nRx} < 95$ el estado es de activo; con los registros de conexión y distancias se analiza la potencia instantánea en cada uno de los nodos.

Resultados esperados: Observar el registro de distancias de cada uno de los nodos, el registro de conexión para las tramas de control del 802.11b en sus estados activo, listen y desconectado y obtener el consumo de potencia instantánea individual de cada nodo para los registros de conexión, observando en tiempo real lo que ocurre con los cambios de posiciones en la topología no homogénea.

Resultados Obtenidos: Se Observa el registro de distancias de cada uno de los nodos, el registro de conexión para las tramas de control del 802.11b en sus estados activo, listen en dos graficas resultantes de la simulación del escenario, obteniéndose el consumo de potencia instantánea individual de cada nodo para los registros de conexión observando el resultado en un diagrama circular y el registro de potencia para los diferentes cambios de estado de la topología, se observa en tiempo real lo que ocurre con los cambios de posiciones en la topología no homogénea.

Conclusiones:

- El consumo de energía no está bien equilibrado en los nodos de la red.
- Cuando la distancia entre los nodos emisor y receptor es mayor a 100 metros el estado del dispositivo pasa a inactivo, entre 95 y 100 el estado

del nodo es de escucha, y menor a 95 puede darse una transmisión exitosa en estado activo.

- Las tramas de control en los registros de conexión muestra un alto consumo de energía en la red, ya que cada vez que la red sale de su rango de cobertura, tiene que volver a enviar las tramas.
- Los continuos requerimientos de envío muestra un proceso de conexión más extenso, esto incrementado la carga en el nodo.
- Las tramas de control se envían siempre a una potencia igual, no mayor a 2 wattios.
- La potencia instantánea es la potencia consumida por la transmisión de datos en diferentes estados del tiempo.
- Como la topología dinámica homogénea afecta el establecimiento de la comunicación
- Se observa el comportamiento de cada nodo dentro de la red con sus nodos vecinos

Figura 42 Relación del consumo de potencia en la topología homogénea

Consumo de potencia por Nodo

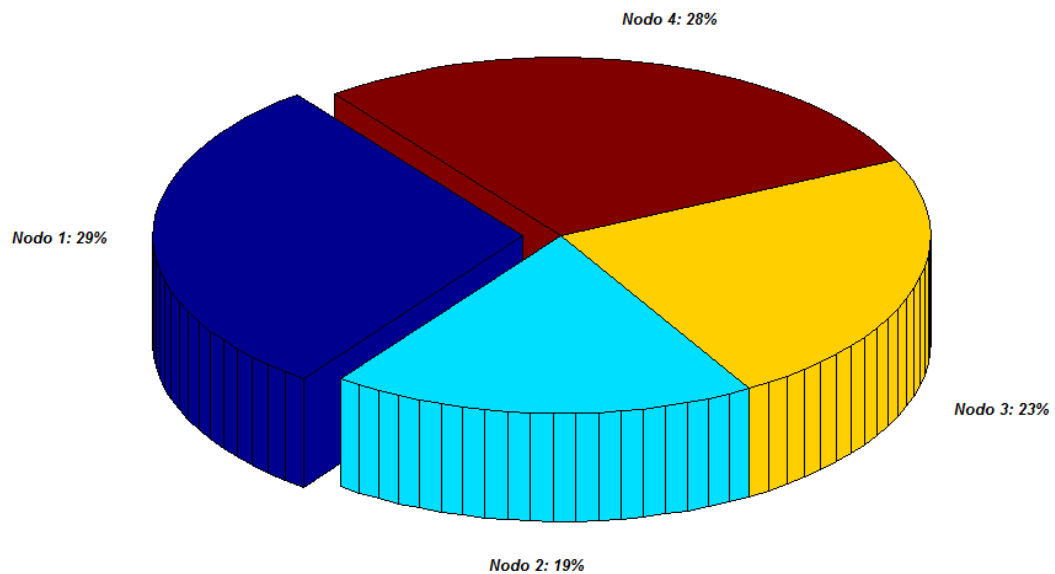


Figura 43 Registro de distancias entre los nodos y estados de conexión

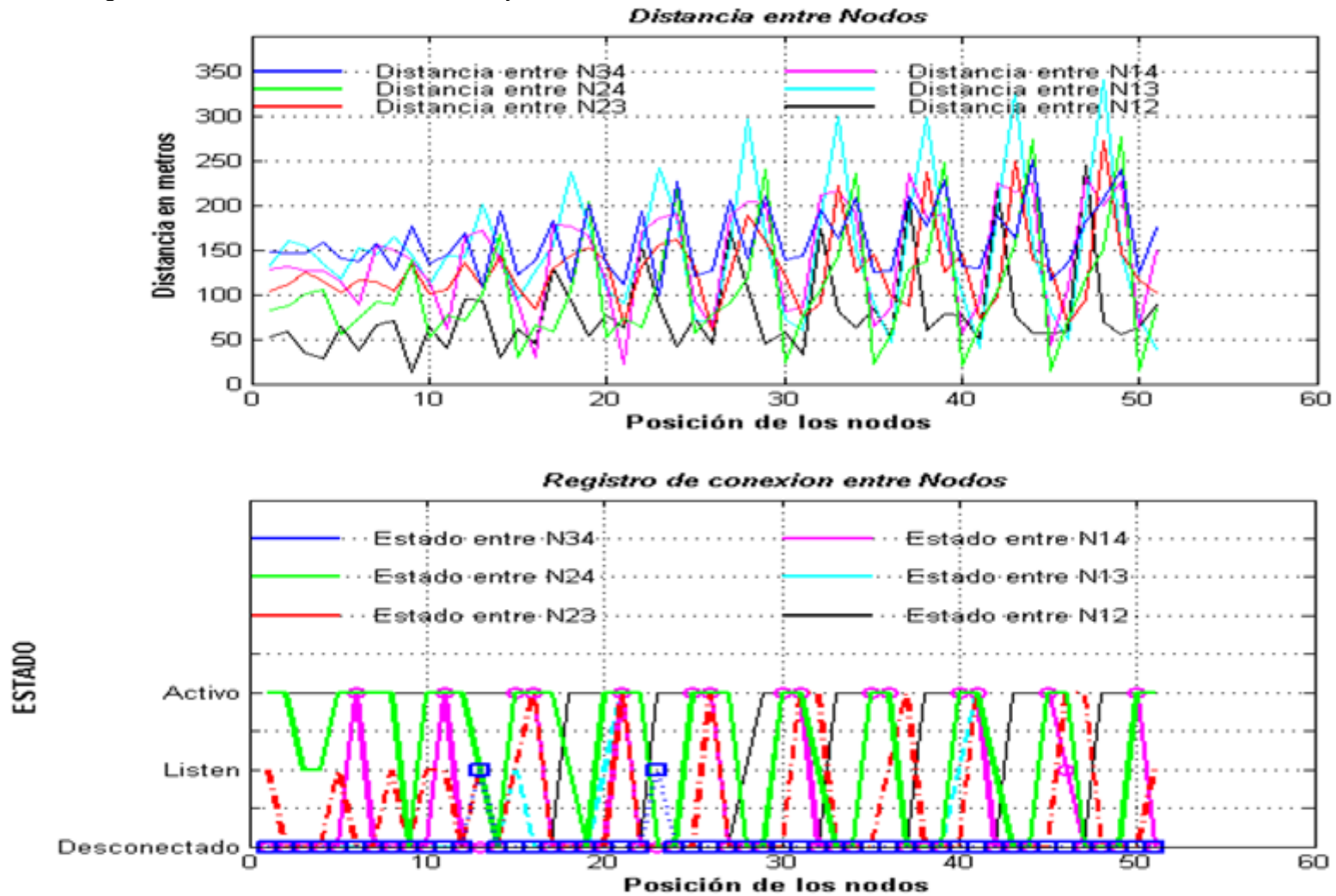


Figura 44 Potencia instantánea del nodo 1 y potencia de las tramas de control

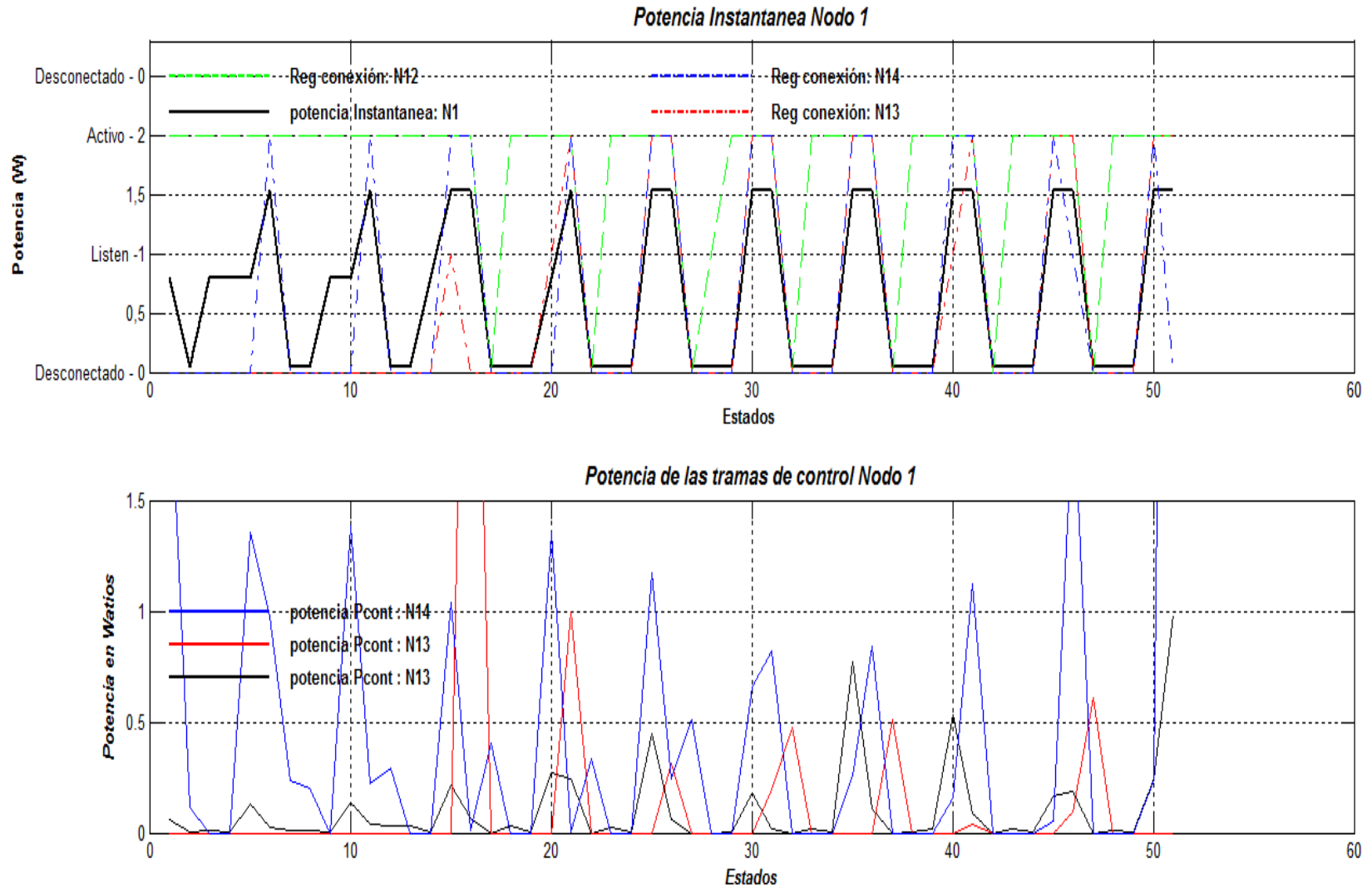


Figura 45 Potencia instantánea del nodo 2 y potencia de las tramas de control

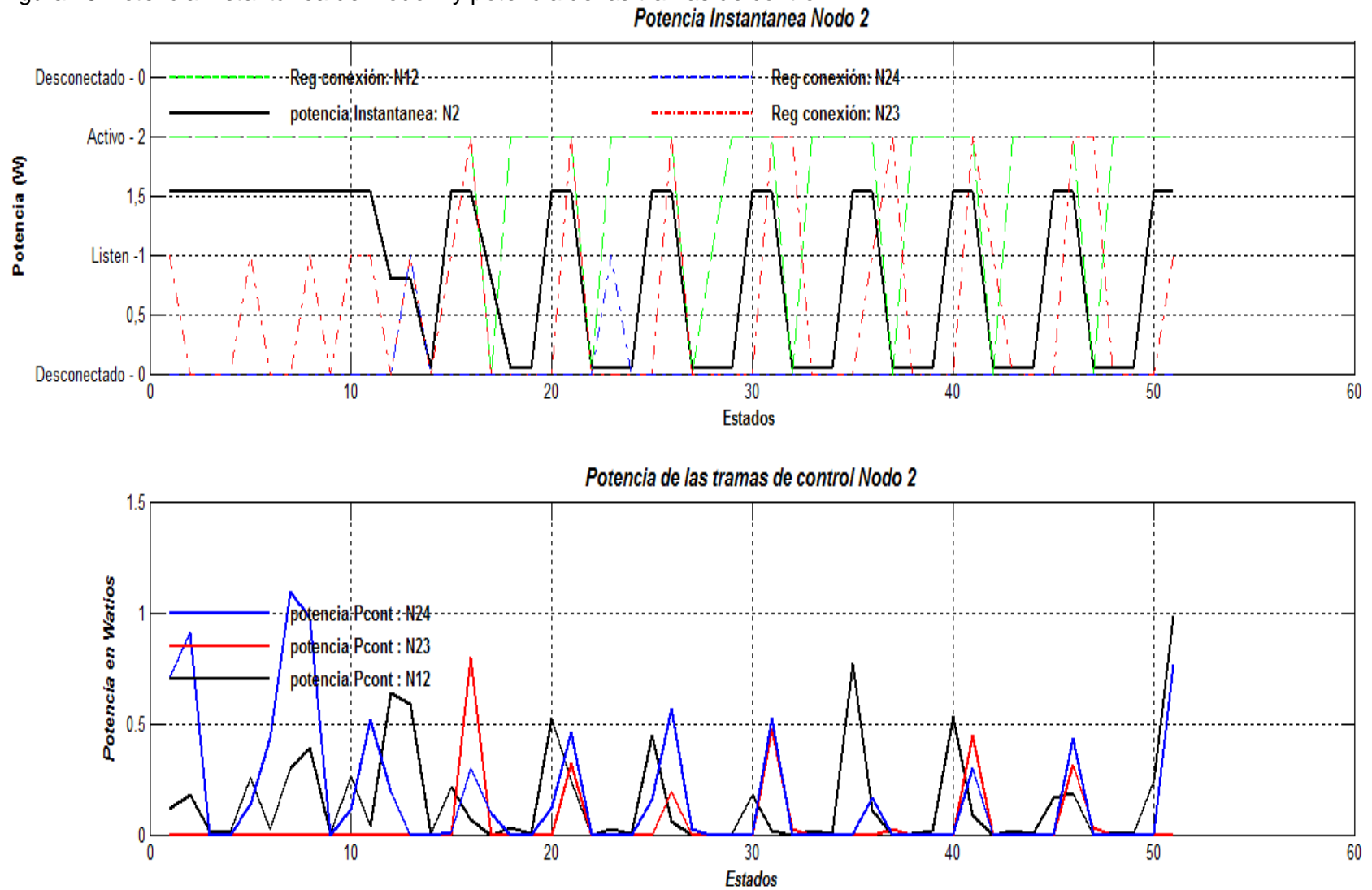


Figura 46 Potencia instantánea del nodo 3 y potencia de las tramas de control

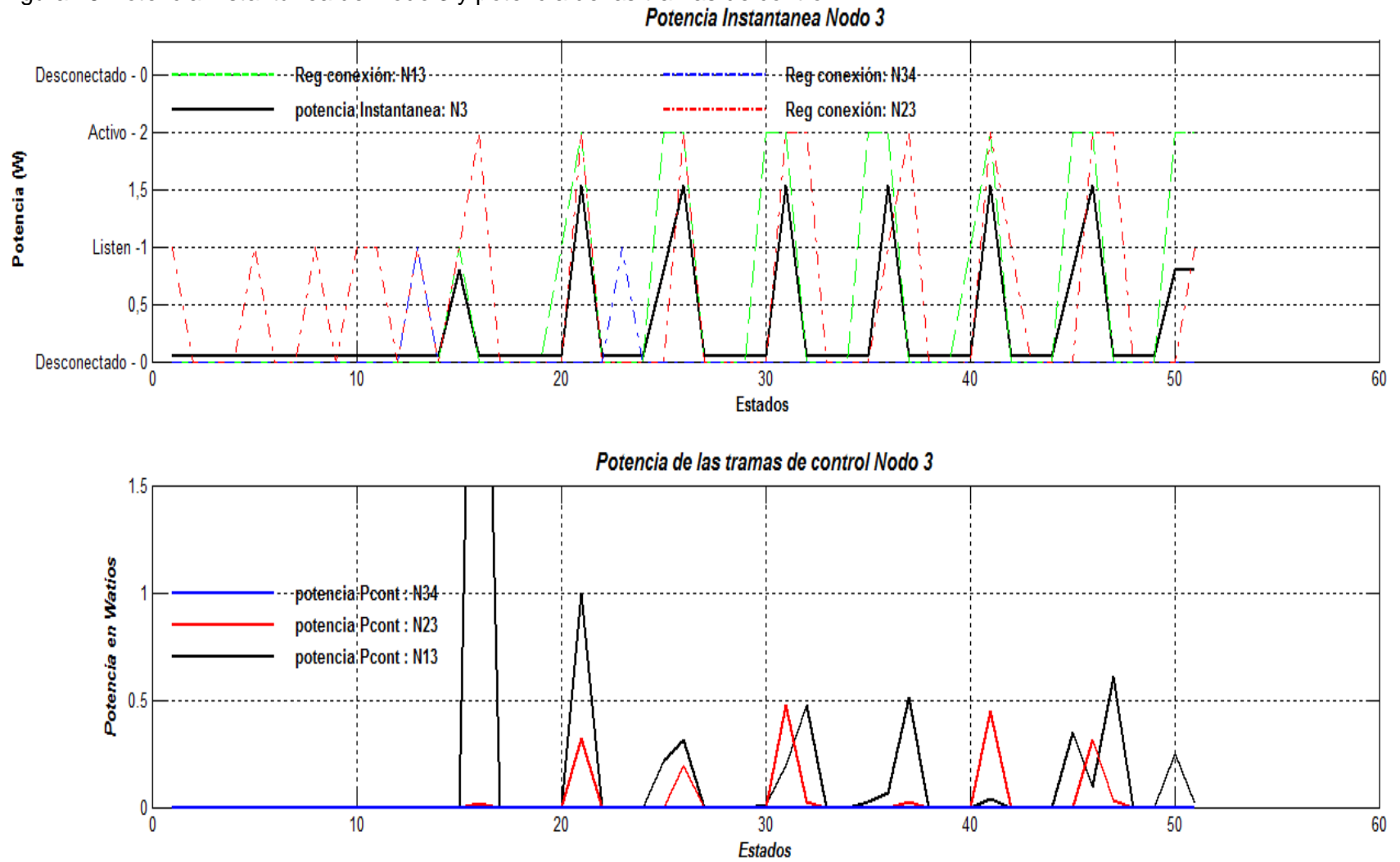
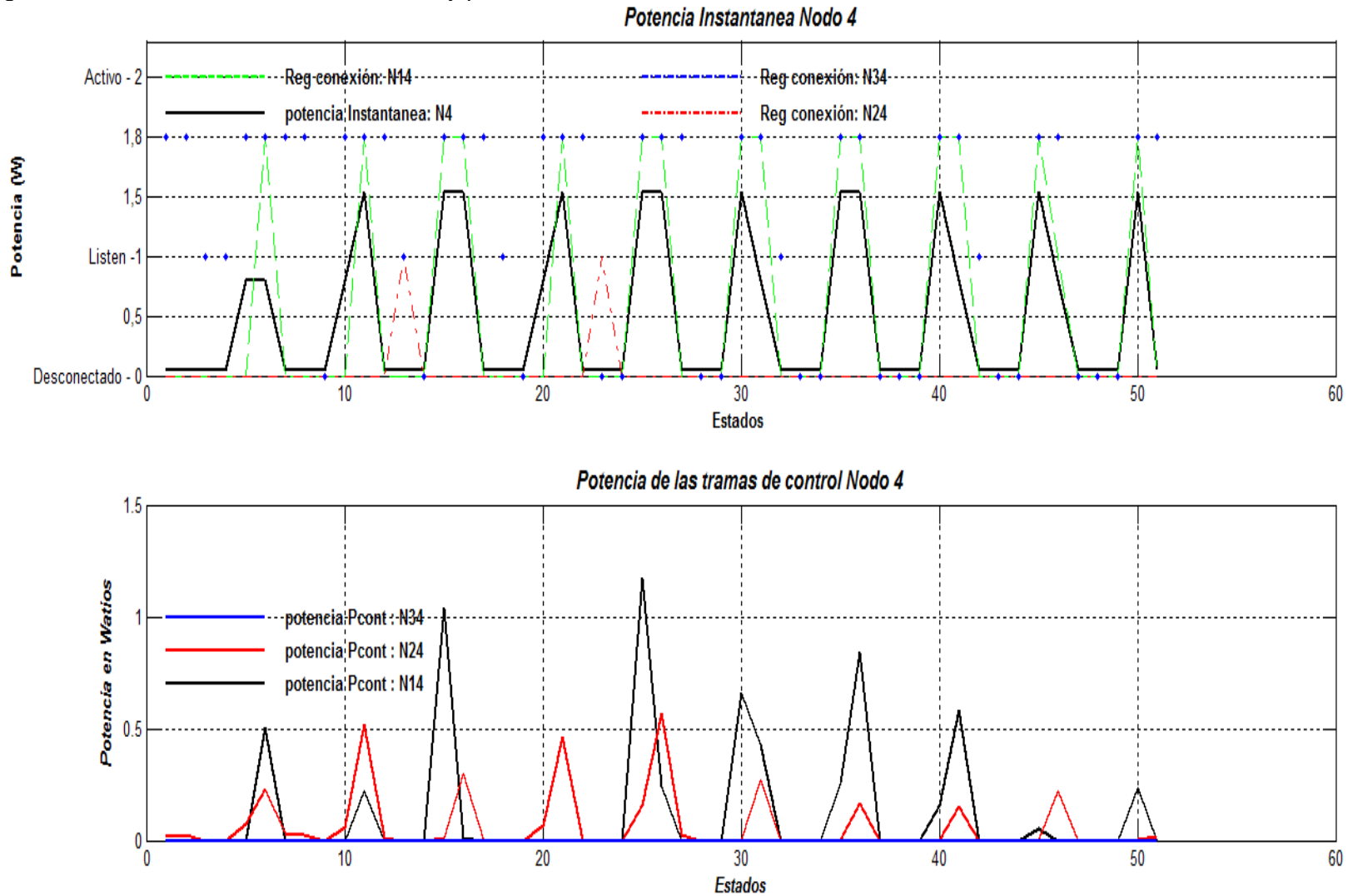


Figura 47 Potencia instantánea del nodo 4 y potencia de las tramas de control



7.2.2 Resultados de la topología No homogénea

Objetivo: Observar como la topología dinámica No homogénea es un limitante de potencia de transmisión de datos según los estados de conexión de los nodos de la red y los diferentes rangos de cobertura de cada dispositivo.

Recurso: Matlab R2009a

Pasos a seguir: Se utiliza un toolbox para la movilidad de los nodos dentro de la red, generándose un vector para las posiciones de cada uno de ellos, calculando las distancias entre nodo transmisor y el nodo receptor llevando un registro a visualizar, para determinar cuál fue el rango de cobertura entre los nodos que establecen la comunicación, se varía el rango de cobertura de los cuatro nodos de la red, si la distancia entre el nodo Tx y Rx es mayor a 110 los nodos están en un estado inactivo, si $95 < \text{distancia nTx-nRx} < 110$ el estado es de escucha, si $\text{distancia nTx-nRx} < 95$ el estado es de activo; con los registros de conexión y distancias se analiza la potencia instantánea en cada uno de los nodos.

Resultados esperados: Observar el registro de distancias de cada uno de los nodos, el registro de conexión para las tramas de control del 802.11b en sus estados activo, listen y desconectado y obtener el consumo de potencia instantánea individual de cada nodo para los registros de conexión, observando en tiempo real lo que ocurre con los cambios de posiciones en la topología no homogénea.

Resultados Obtenidos: Se Observa el registro de distancias de cada uno de los nodos, el registro de conexión para las tramas de control del 802.11b en sus estados activo, listen en dos graficas resultantes de la simulación del escenario, obteniéndose el consumo de potencia instantánea individual de cada nodo para los registros de conexión observando el resultado en un diagrama circular y el registro de potencia para los diferentes cambios de estado de la topología, se observa en tiempo real lo que ocurre con los cambios de posiciones en la topología no homogénea.

Conclusiones:

- El consumo de energía no está bien equilibrado en los nodos de la red.
- Cuando la distancia entre los nodos emisor y receptor es mayor a 100 metros el estado del dispositivo pasa a inactivo, entre 95 y 100 el estado del nodo es de escucha, y menor a 95 puede darse una transmisión exitosa en estado activo.

- Las tramas de control en los registros de conexión muestra un alto consumo de energía en la red, ya que cada vez que la red sale de su rango de cobertura, tiene que volver a enviar las tramas.
- Los continuos requerimientos de envío muestra un proceso de conexión más extenso, esto incrementado la carga en el nodo.
- Las tramas de control se envían siempre a una potencia igual, no mayor a 2 wattios.
- La potencia instantánea es la potencia consumida por la transmisión de datos en diferentes estados del tiempo.
- Como la topología dinámica No homogénea afecta el establecimiento de la comunicación, causada por diversidad de dispositivos que tienen diferentes rangos de cobertura.
- Se observa el comportamiento de cada nodo dentro de la red con sus nodos vecinos

Figura 48 Relación del consumo de potencia en la topología No homogénea
Consumo de potencia por Nodo

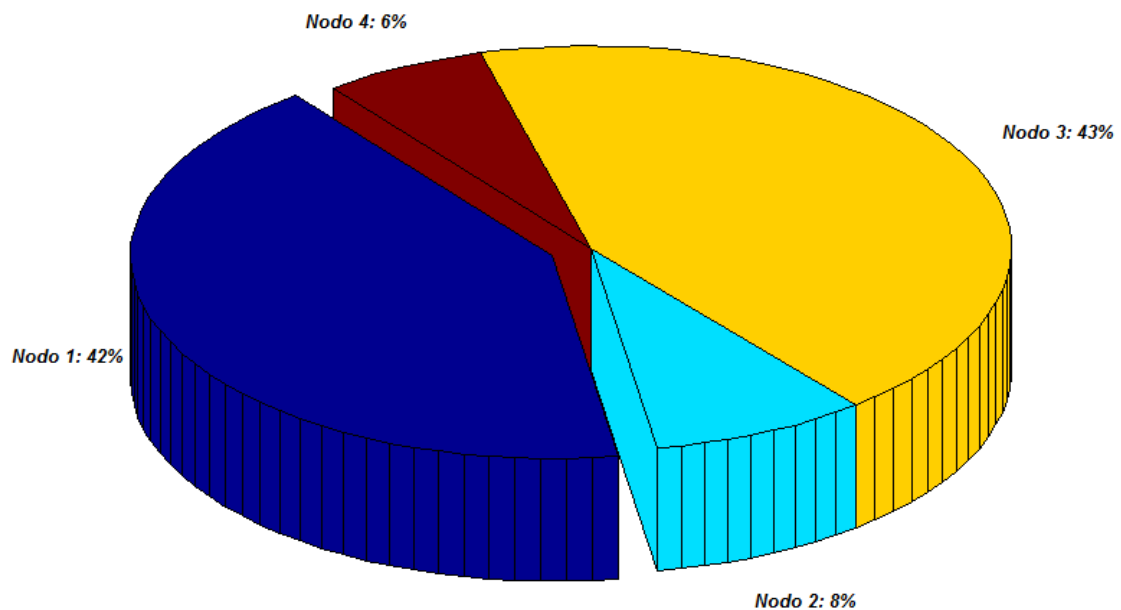


Figura 49 Registro de distancias entre los nodos y estados de conexión

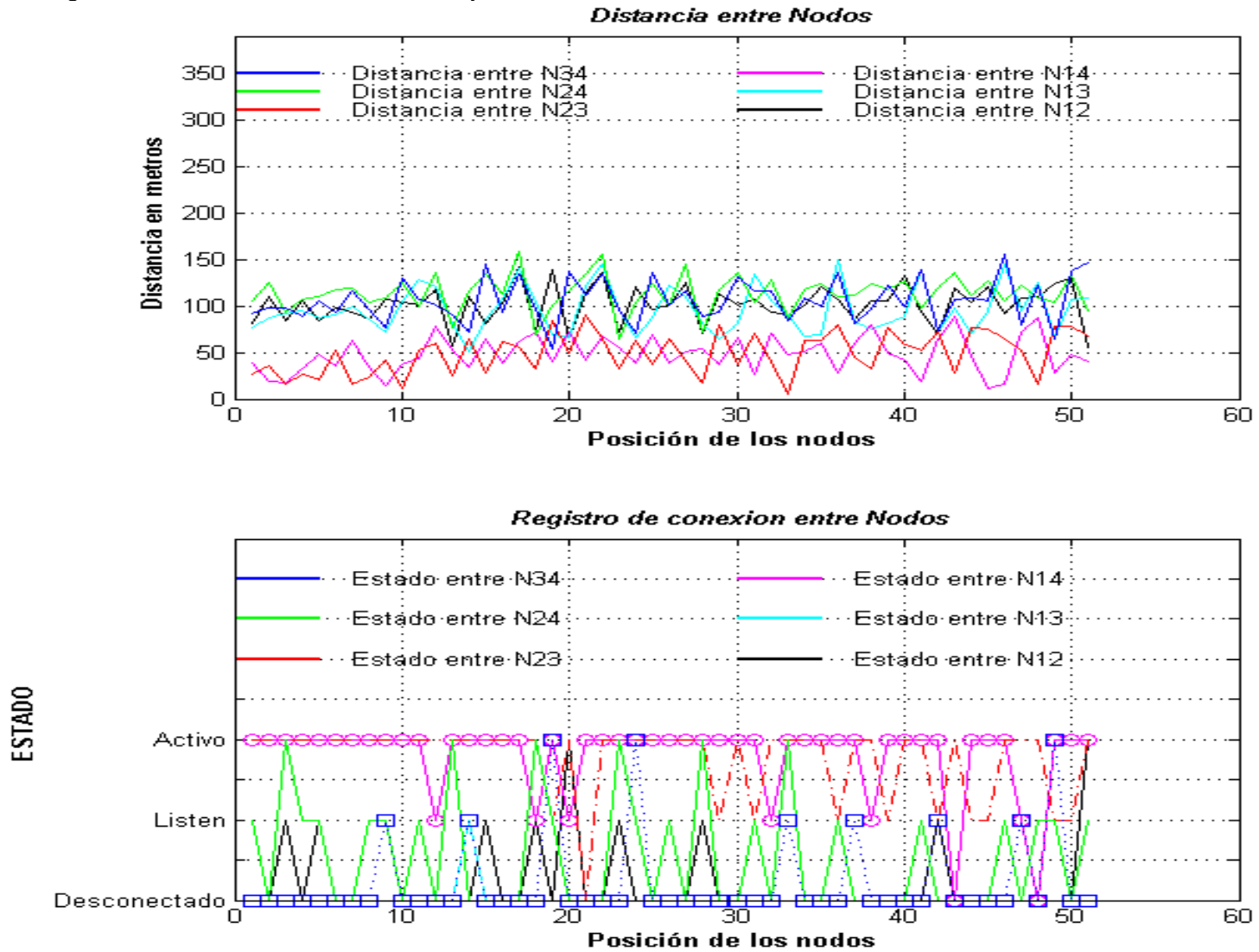


Figura 50 Potencia instantánea del nodo 1 y potencia de las tramas de Control

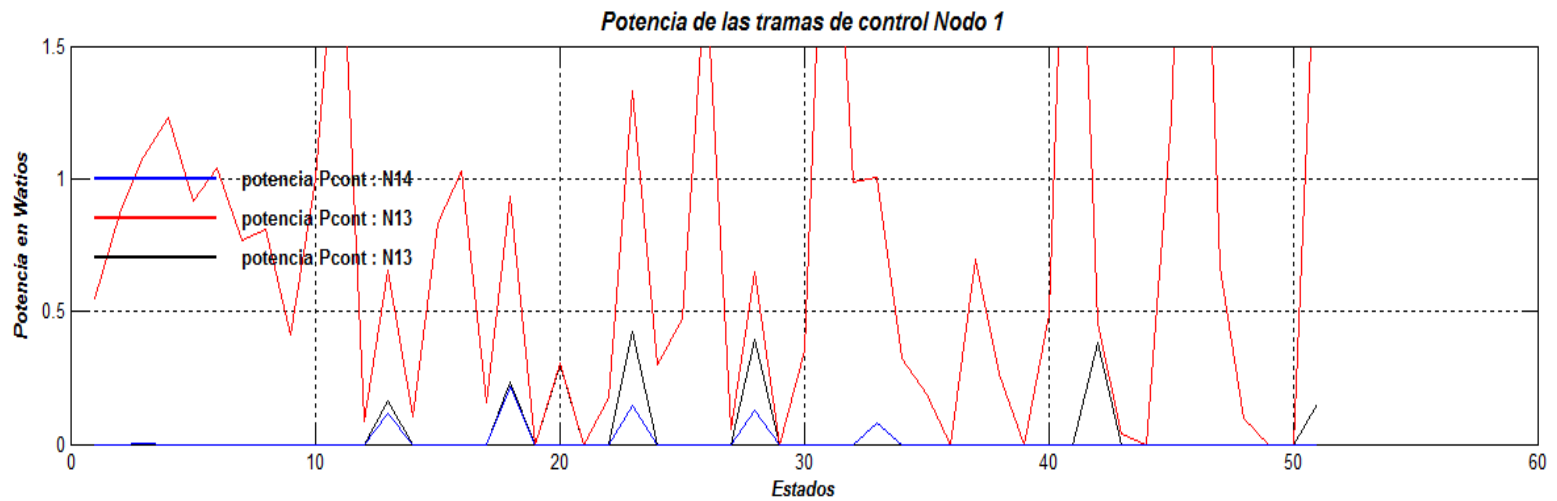
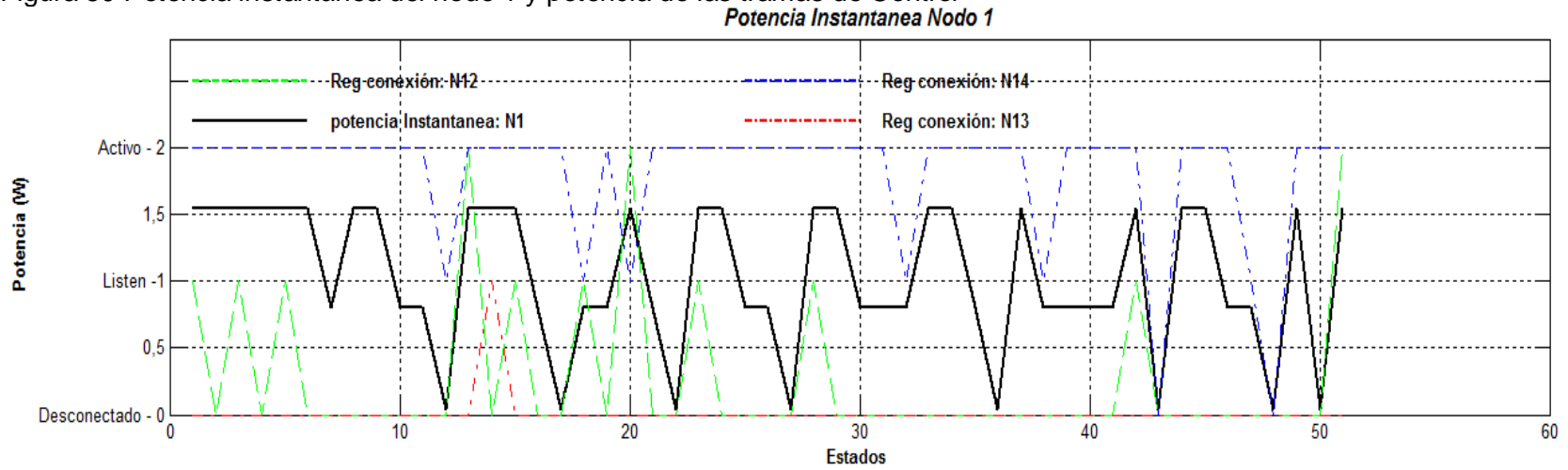


Figura 51 Potencia instantánea del nodo 2 y potencia de las tramas de control

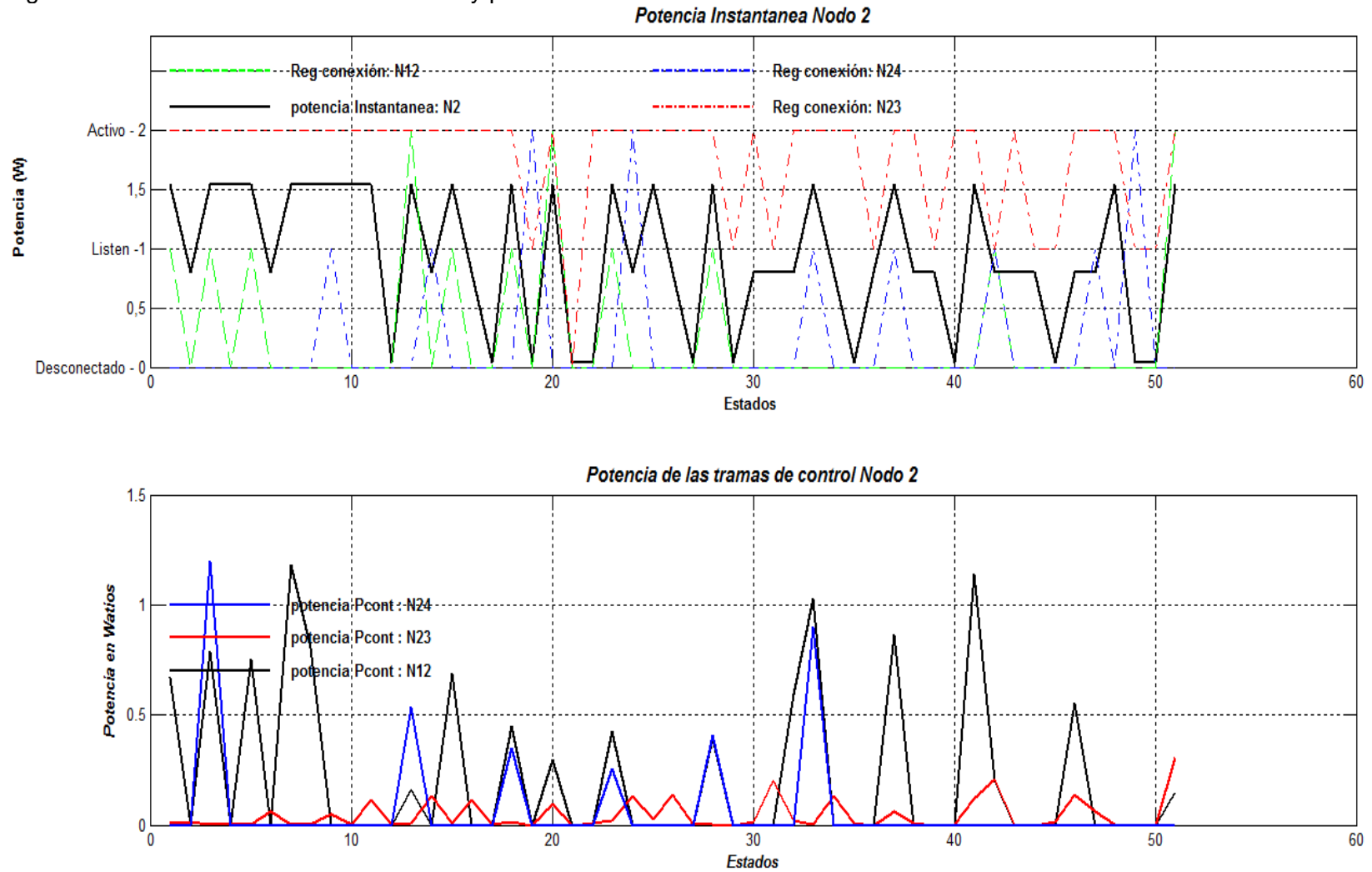


Figura 52 Potencia instantánea del nodo 2 y potencia de las tramas de control

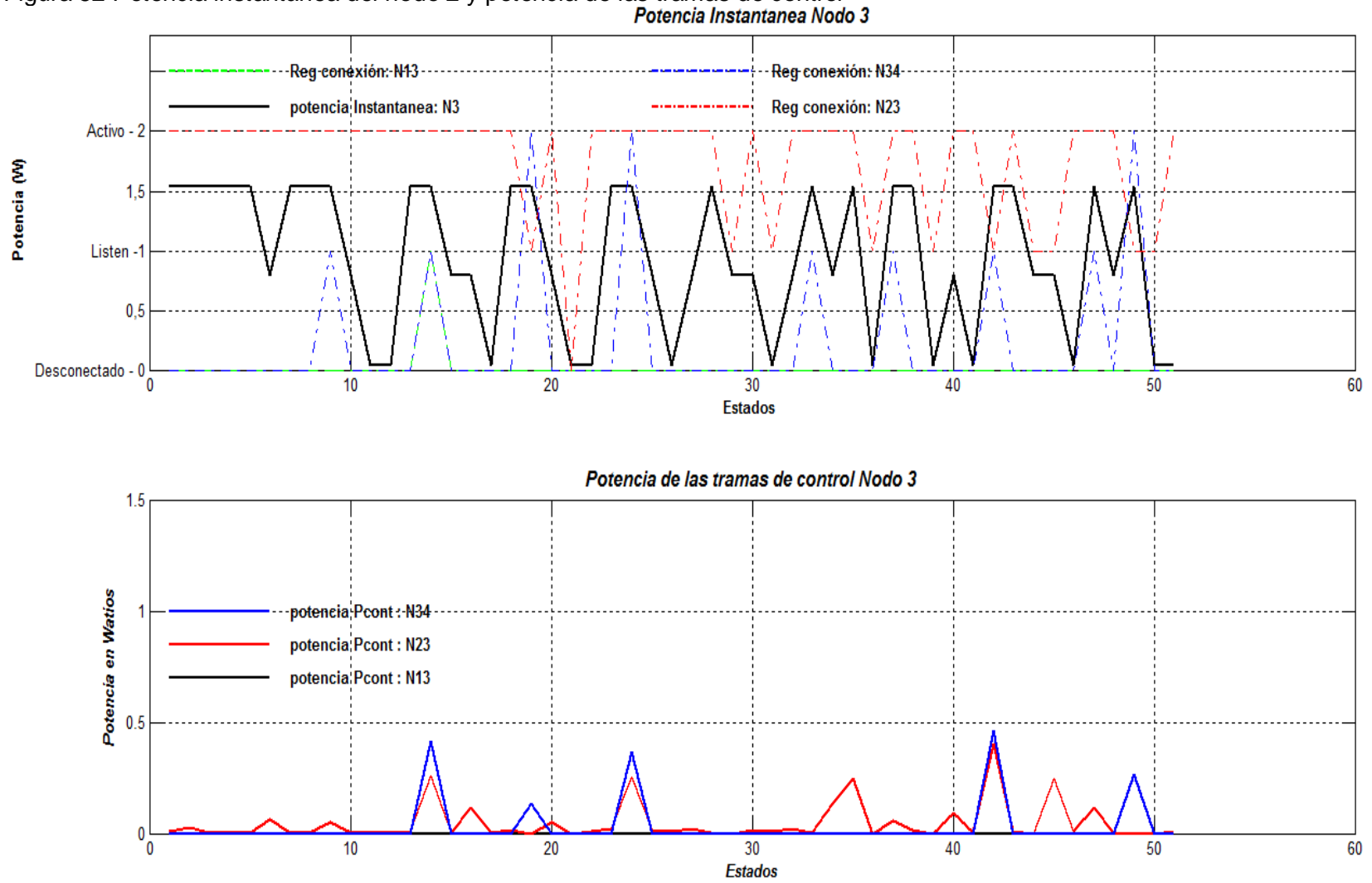
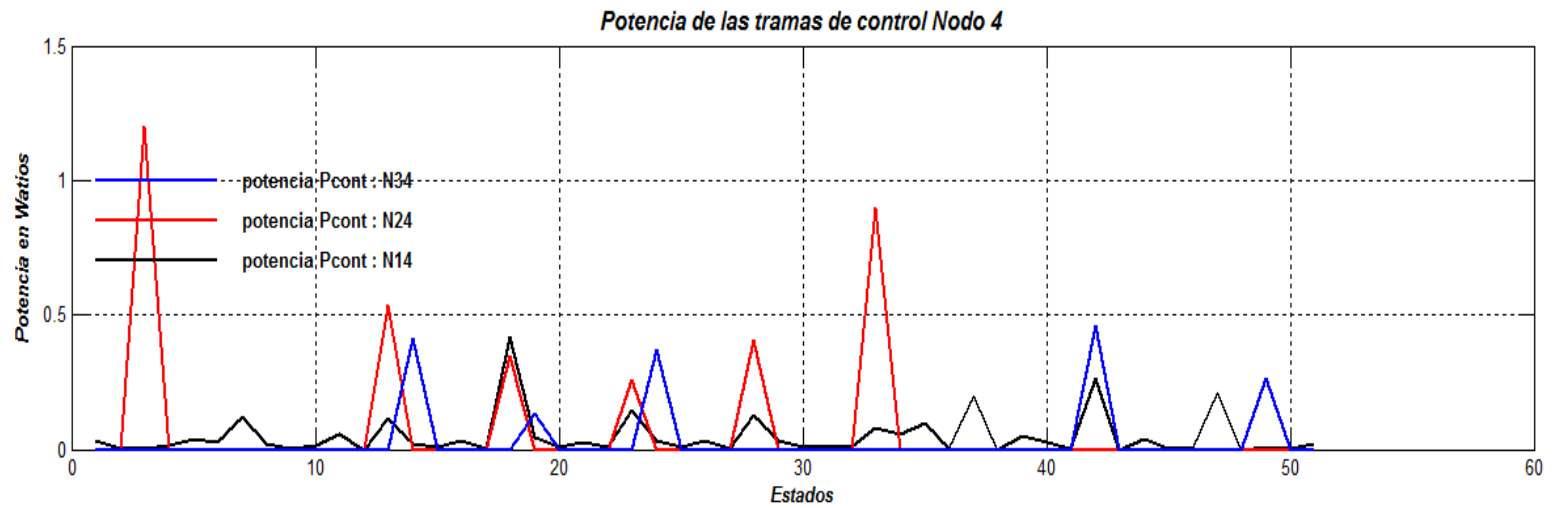
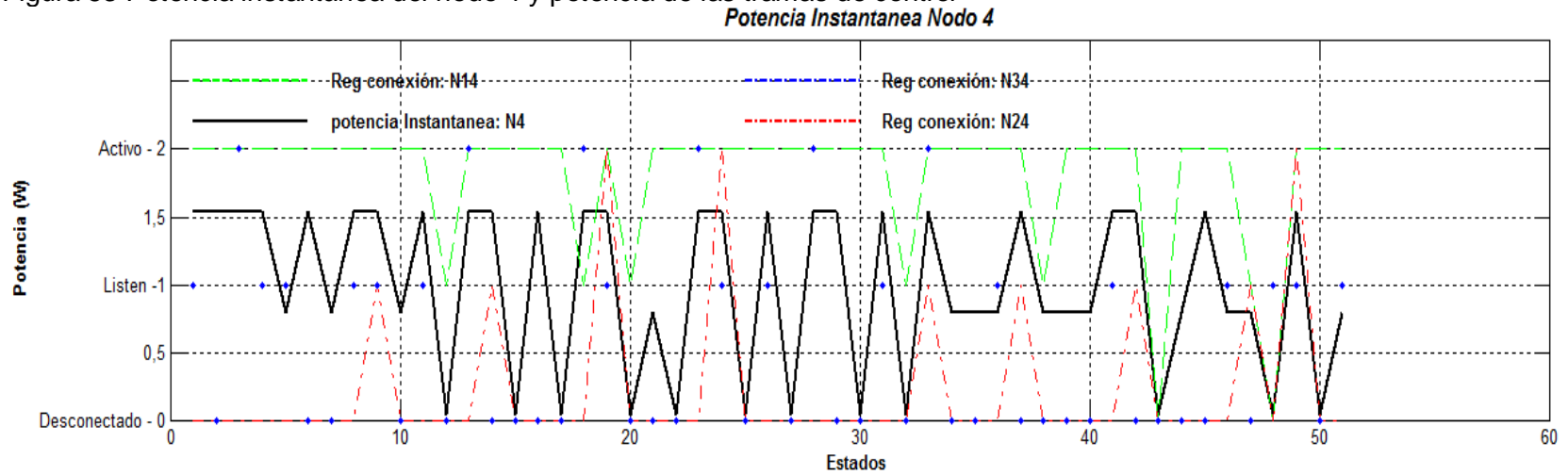


Figura 53 Potencia instantánea del nodo 4 y potencia de las tramas de control



7.2.3 Escalabilidad

Objetivo: Diseñar un escenario donde se demuestre la escalabilidad en la red sobre una topología homogénea, observando el crecimiento continuo de trabajo de manera fluida en más comunicaciones y más nodos en la red flotante y como esto afecta la potencia de transmisión.

Recurso: Matlab R2009a, OmNet4

Pasos a seguir: El toolbox crea un escenario con una topología plana. Donde de forma aleatoria se realiza un requerimiento de una aplicación tipo cross-layer, de un nodo hacia otro nodo de la red.

La comunicación se inicia enviando RTS hacia los nodos cercanos, el nodo con disponibilidad responde con un CTS, se inicia el proceso de determinación de ruta(usando como camino los nodos cercanos, el toolbox además asume al crear la topología ese tipo de ruteo) y el envío de los datos hacia nodo destino si el nodo no es quien recibe se inicia una transmisión del nodo receptor hacia el siguiente nodo en busca del nodo destino, si el nodo destino recibe el paquete de datos envía un ACK por la misma ruta. Si no se recibe un ACK se registra como una transmisión no exitosa.

Además el toolbox al realizar la transmisión usa el modelo Log-normal (Shadowing), con el fin de determinar si existe nivel de potencia para realizar la transmisión y un tamaño determinado de los paquetes de control y datos (ver size_rts y otros parámetros en el archivo parameter.m), y con esto se determina el tiempo de transición, la ruta determina el numero de Hops.vEl número de ACKs determina la tasa de éxito.

Resultados esperados: Se observa el comportamiento de la potencia en el nodo al transmitir datos, lo que consume, como se comporta el nodo dentro de la topología dinámica, rendimiento en tiempo de la red, medida del numero de hops según la cantidad de nodos, potencia de la trama de control y trama de datos.

Resultados Obtenidos: Comportamiento de la potencia en el nodo al transmitir datos, lo que consume, como se comporta el nodo dentro de la topología dinámica, rendimiento en tiempo de la red, medida del numero de hops según la cantidad de nodos, potencia de la trama de control y trama de datos.

Conclusiones:

- Si aumenta el número de hops y el tiempo de respuesta, se incrementa la cantidad de potencia consumida
- Al aumentar el tamaño de la red el tiempo de transmisión aumenta y el número de éxitos disminuye.
- Al aumentar el número de hops disminuye el consumo de potencia
- Como el incremento de requerimientos incrementa el consumo de potencia disminuye la tasa de éxitos
- Cuando ocurren hops o múltiples hops, la potencia de transmisión se reparte entre los nodos disminuyendo el consumo individual

Figura 54 Prueba del rendimiento de la red para escalabilidad

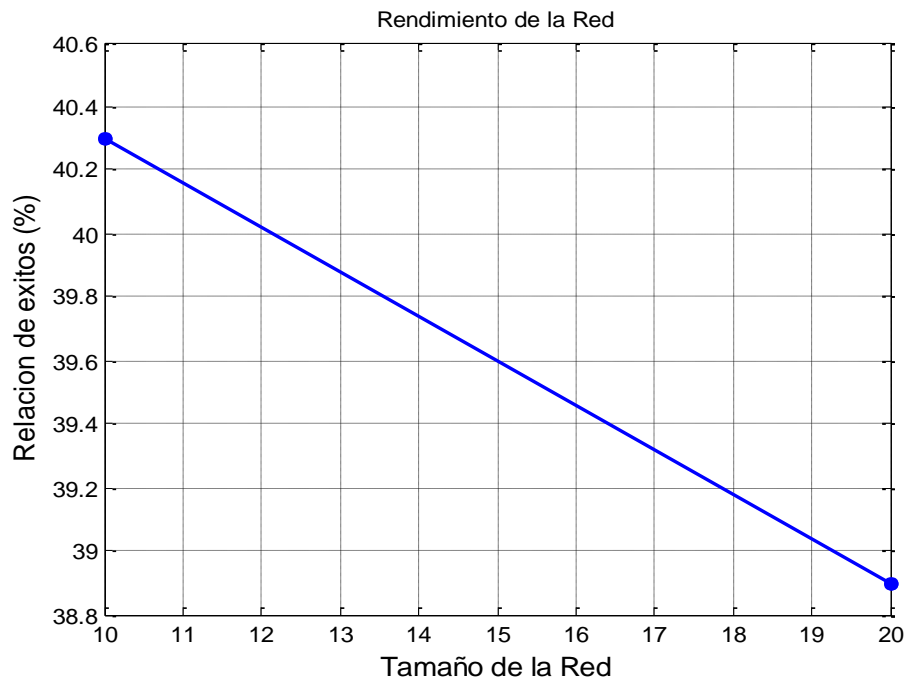


Figura 55 Prueba del rendimiento de la red en tiempo para escalabilidad

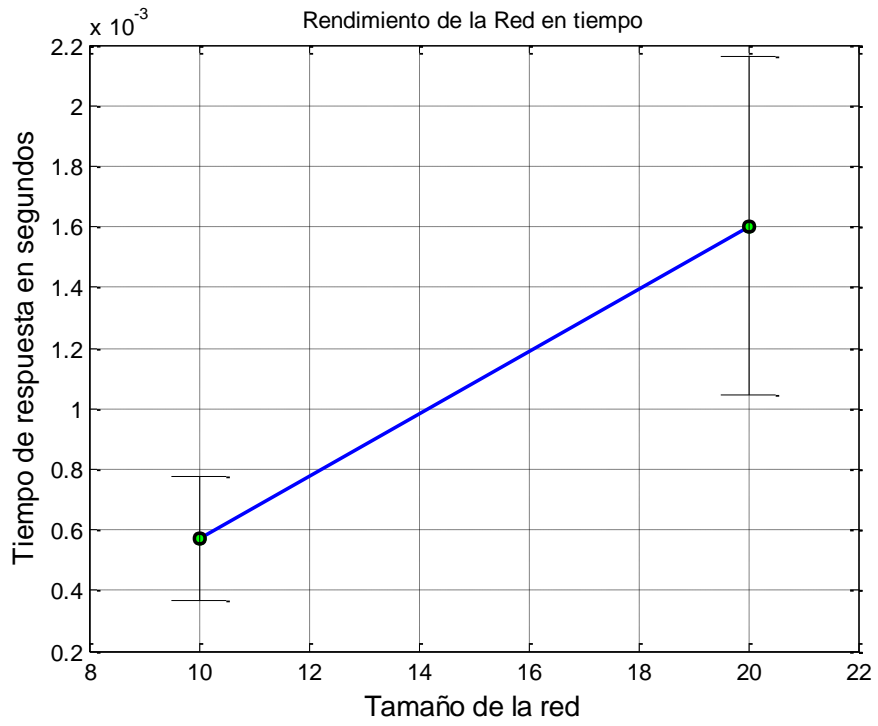


Figura 56 Comportamiento de la red con múltiples hops

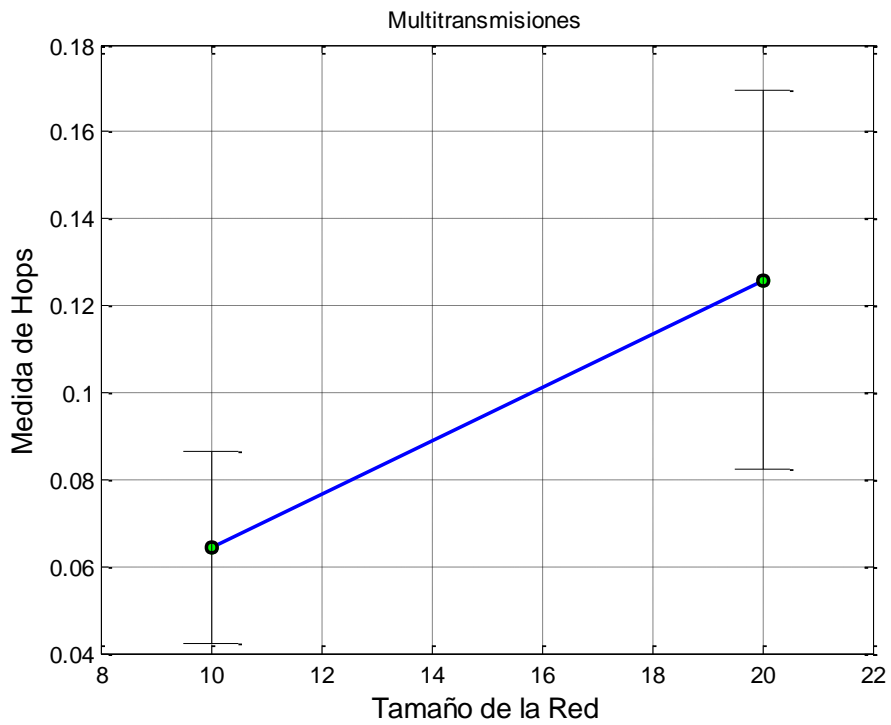
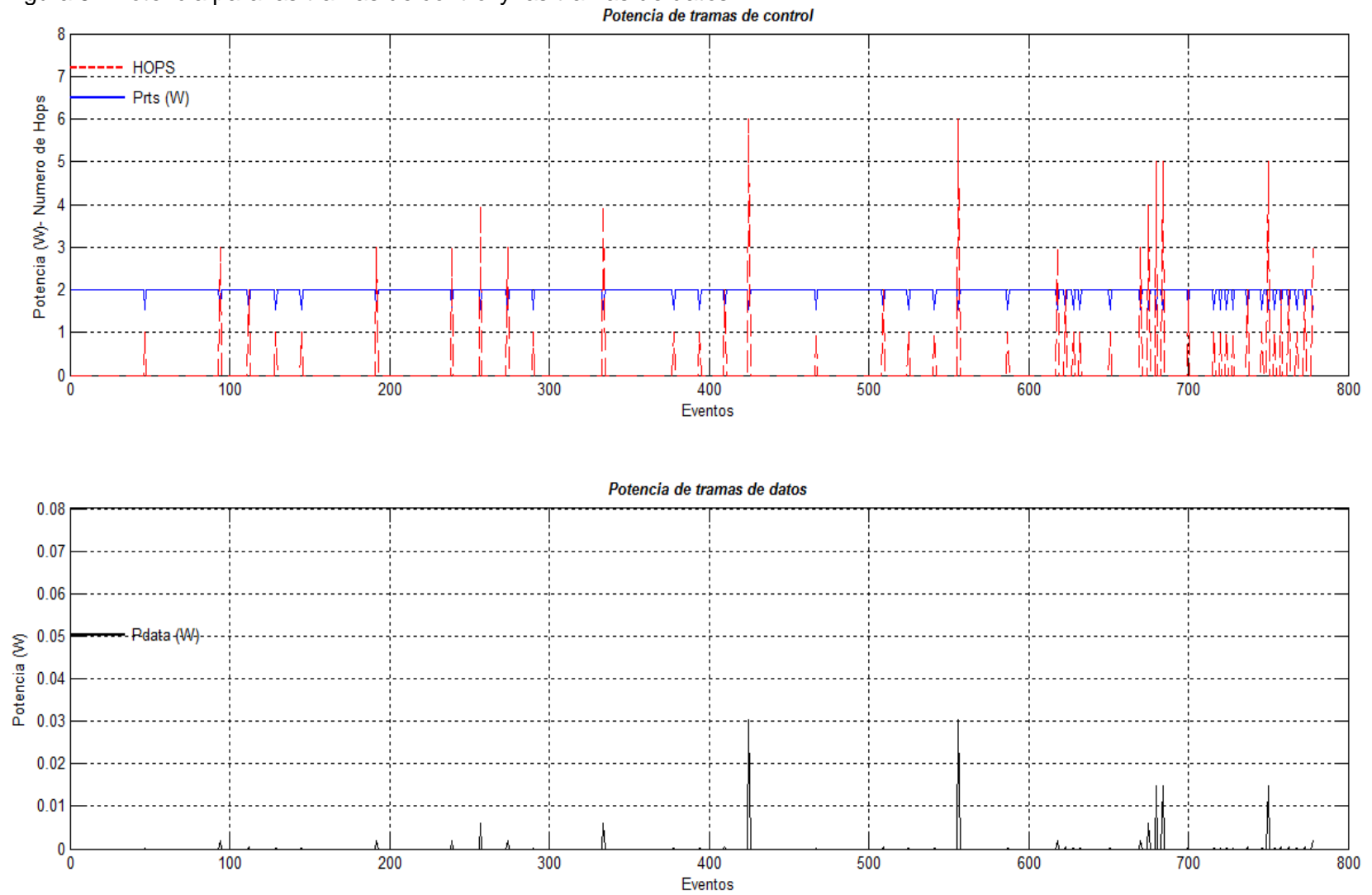


Figura 57 Potencia para las tramas de control y las tramas de datos



7.3 PLANTEAMIENTO A LA SOLUCIÓN DE POTENCIA

Objetivo: Planteamiento de una solución para la limitación de potencia de transferencia de datos en redes Ad Hoc, donde se demuestre el control de la topología y el bajo consumo de potencia en la red.

Recurso: Matlab R2009a

Pasos a seguir: El toolbox ayuda a la visualización de los nodos y sus conexiones como grafos en una topología plana. Se generan los vectores para las posiciones de los nodos y el cálculo de la distancia entre ellos generando los datos de conexión según el estado del nodo, inactivo, sleep y activo, con esto se realiza el análisis de las conexiones según el grado del nodo y las distancias que hay entre ellos.

Resultados esperados: Observar el problema a solucionar en grafos, el grado y coste de las rutas entre los nodos de la red, presentar la solución dada según las distancias entre nodos y su relación con la topología dinámica, observando resultados de disminución de potencia de operación en la red Ad Hoc.

Resultados Obtenidos: Se obtiene el control de la topología por medio del nodo estático, y el consumo de potencia es equilibrado en la red Ad Hoc, observando no mayores distancias de 200 metros entre los nodos de la red. Se observa la disminución de potencia instantánea por nodo y la potencia de las tramas de control.

Conclusiones:

- Al otorgar peso a los nodos hace que la selección de rutas sea más simple, dado que siempre tendrá que buscar el nodo de mayor peso en este caso el nodo estático el que controlaría las rutas en redes Ad Hoc, de esta forma la potencia en este nodo es más estable y al estar más tiempo en un solo estado como conectado (activo), los cambios de potencia son menores lo que permite implementar en las tramas de control de potencia sobre la capa física.
- Al reducir las distancias entre nodos se disminuye el problema de conexión y desconexión, por lo tanto se reduce la potencia por las tramas de control y el consumo por nodo es más estable y se reparte mejor el consumo por nodo.
- Muestra las posibles interacciones entre los nodos es decir la cantidad de requerimientos que deben hacer si desean establecer una ruta.

Figura 58 Rutas de nodos con su coste para el estado1
Presentación del problema por Grafos-Estado1

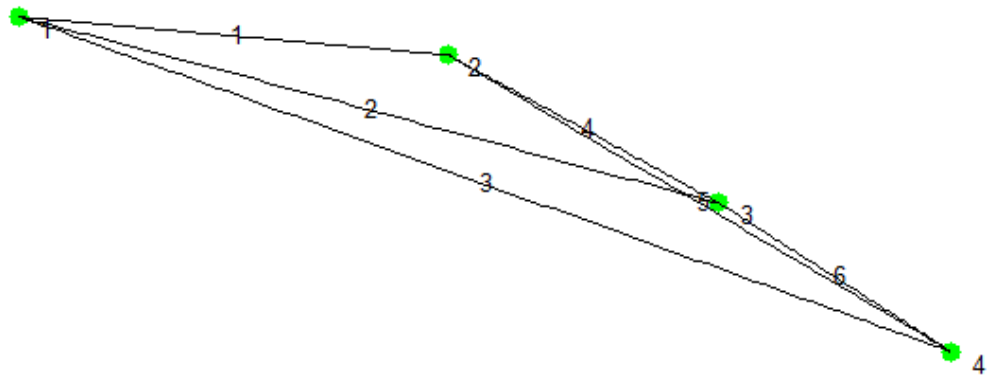


Figura 59 Rutas de nodos con su coste para un estado2
Presentación del problema por Grafos-Estado3

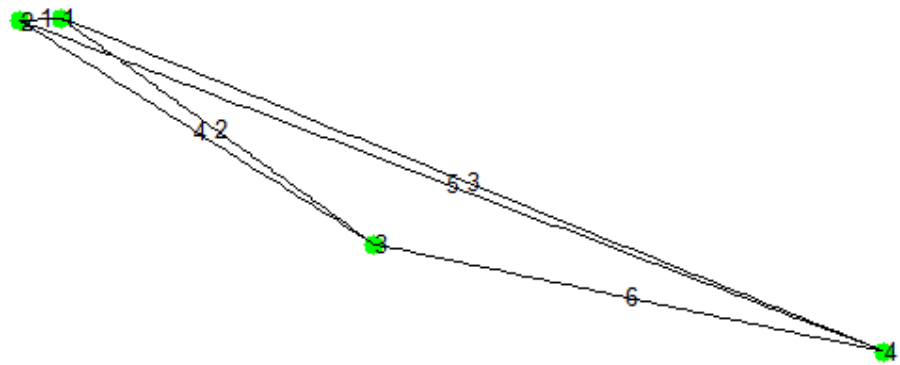


Figura 60 Estados del nodo en grafos
Presentación de los estados del nodo en grafos

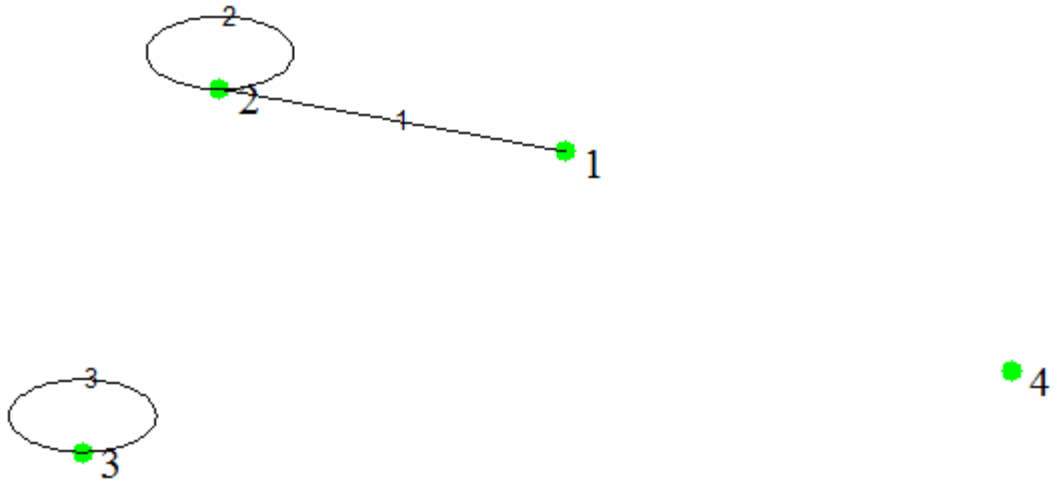


Figura 61 Solución a la limitación de potencia

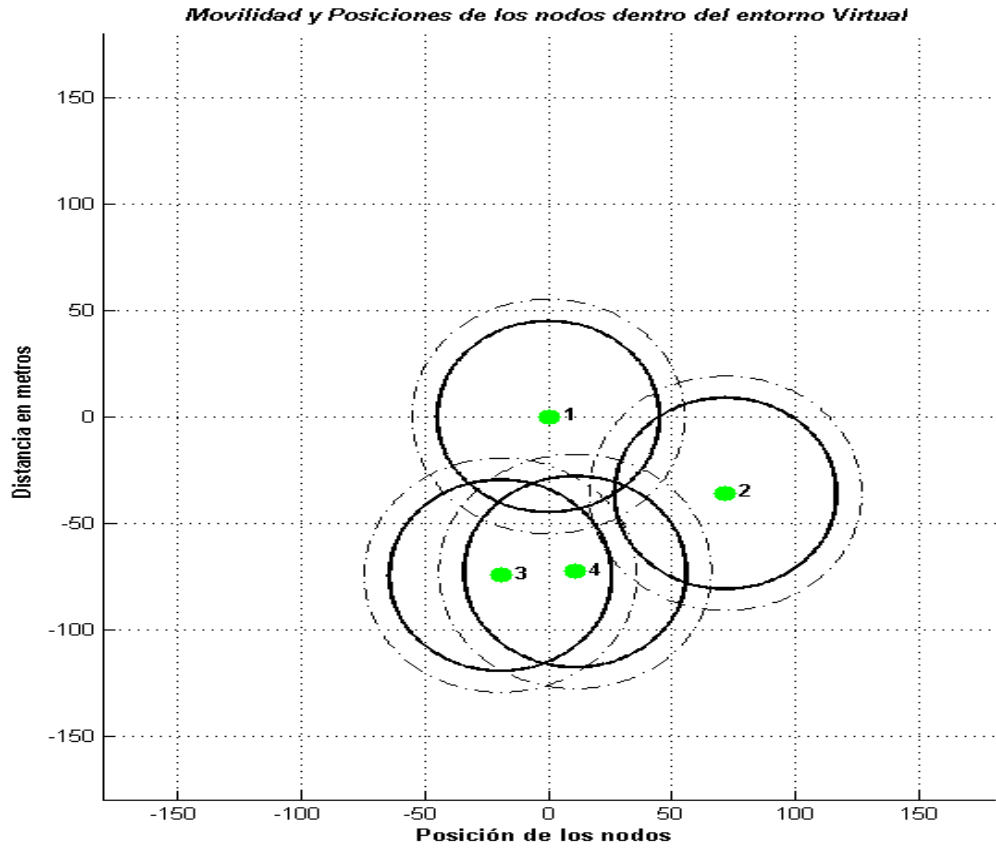


Figura 62 Relación del consumo de potencia en la solución

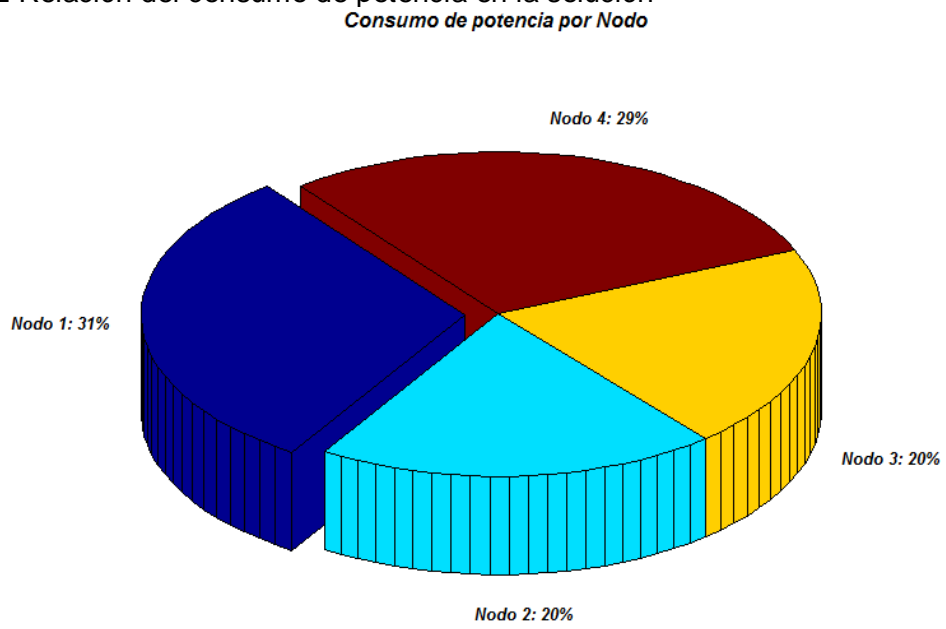


Figura 63 Registro de distancias entre los nodos y estados de conexión

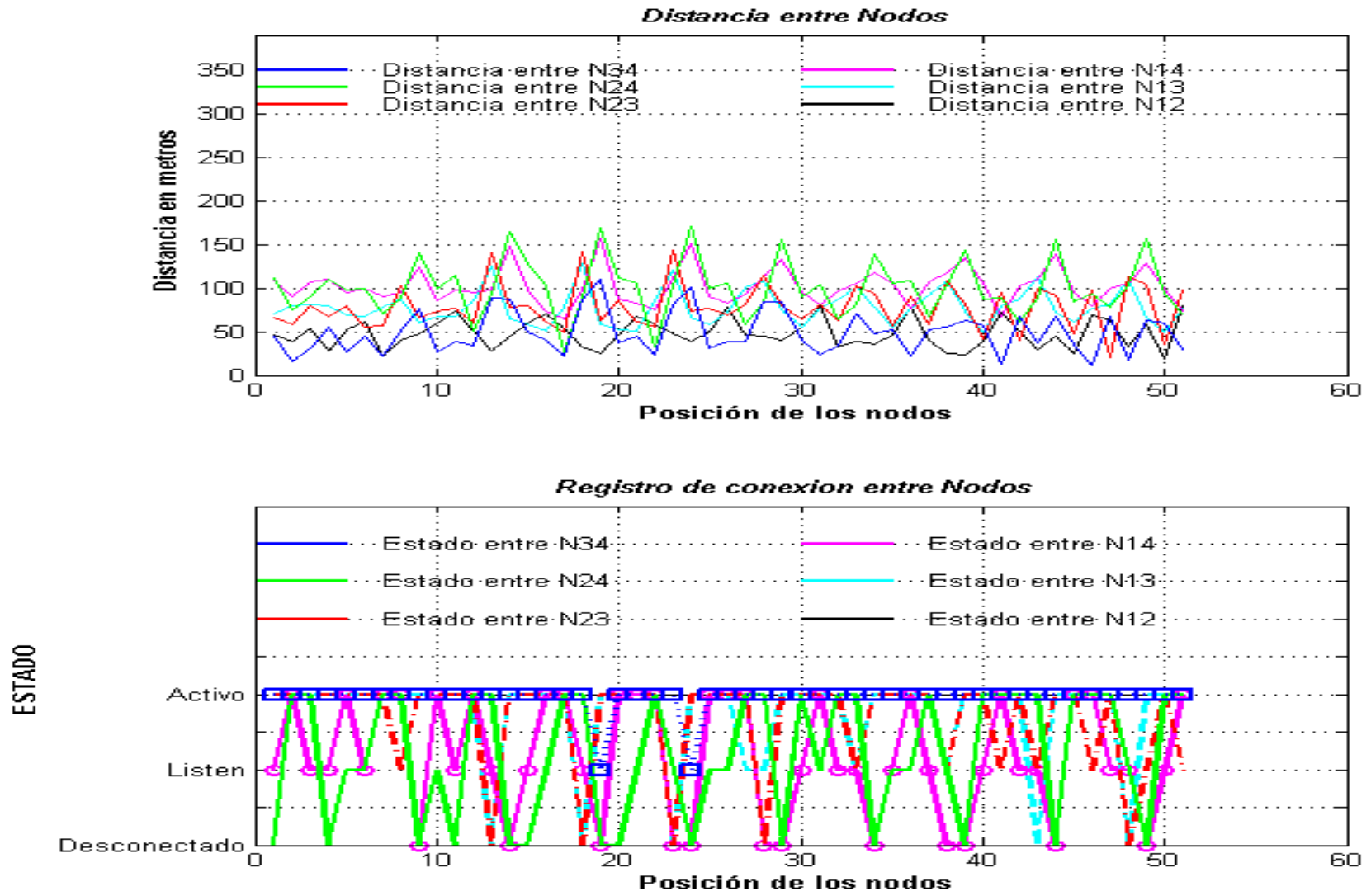


Figura 64 Potencia instantánea del nodo 1 y potencia de las tramas de Control

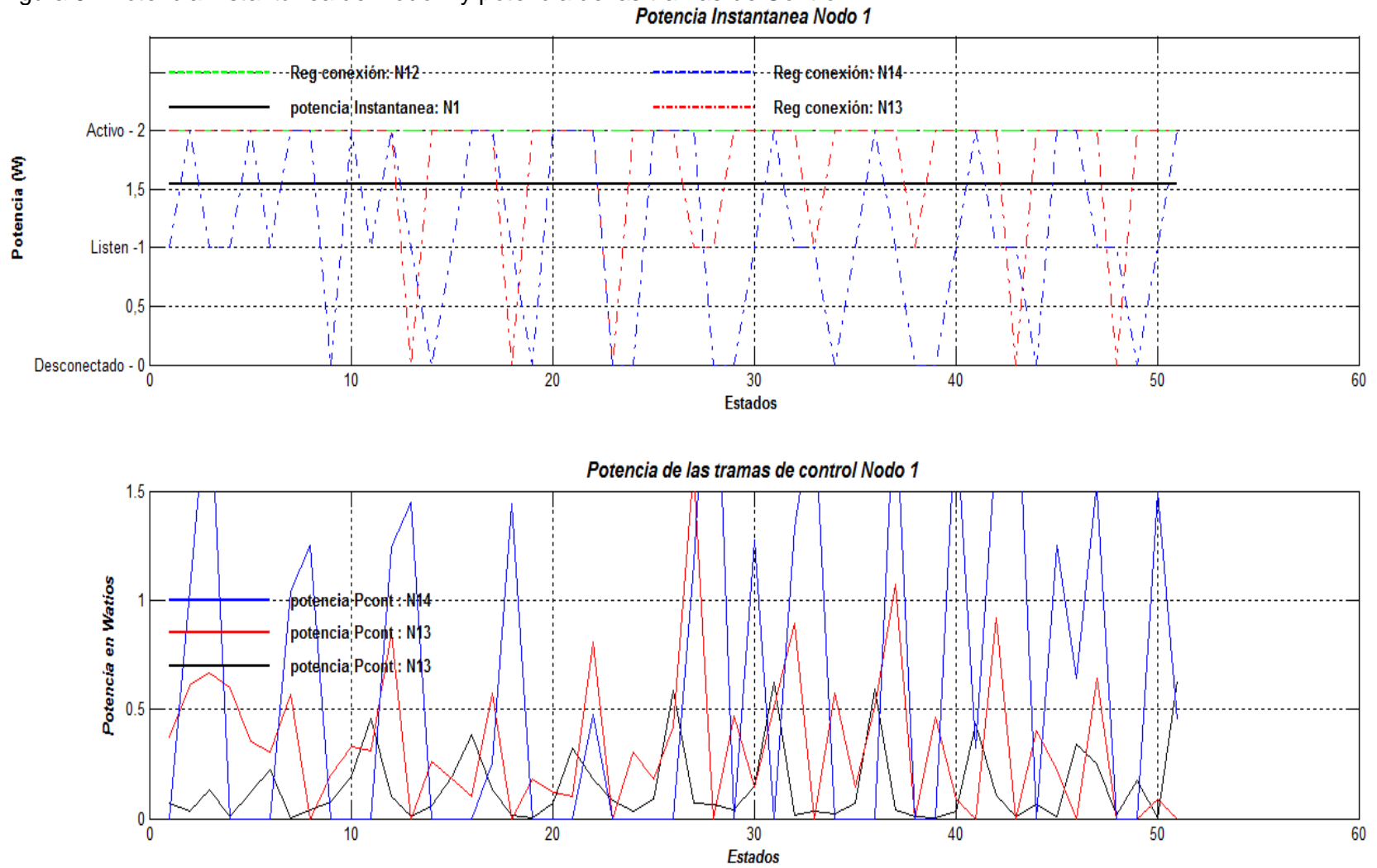


Figura 65 Potencia instantánea del nodo 2 y potencia de las tramas de control

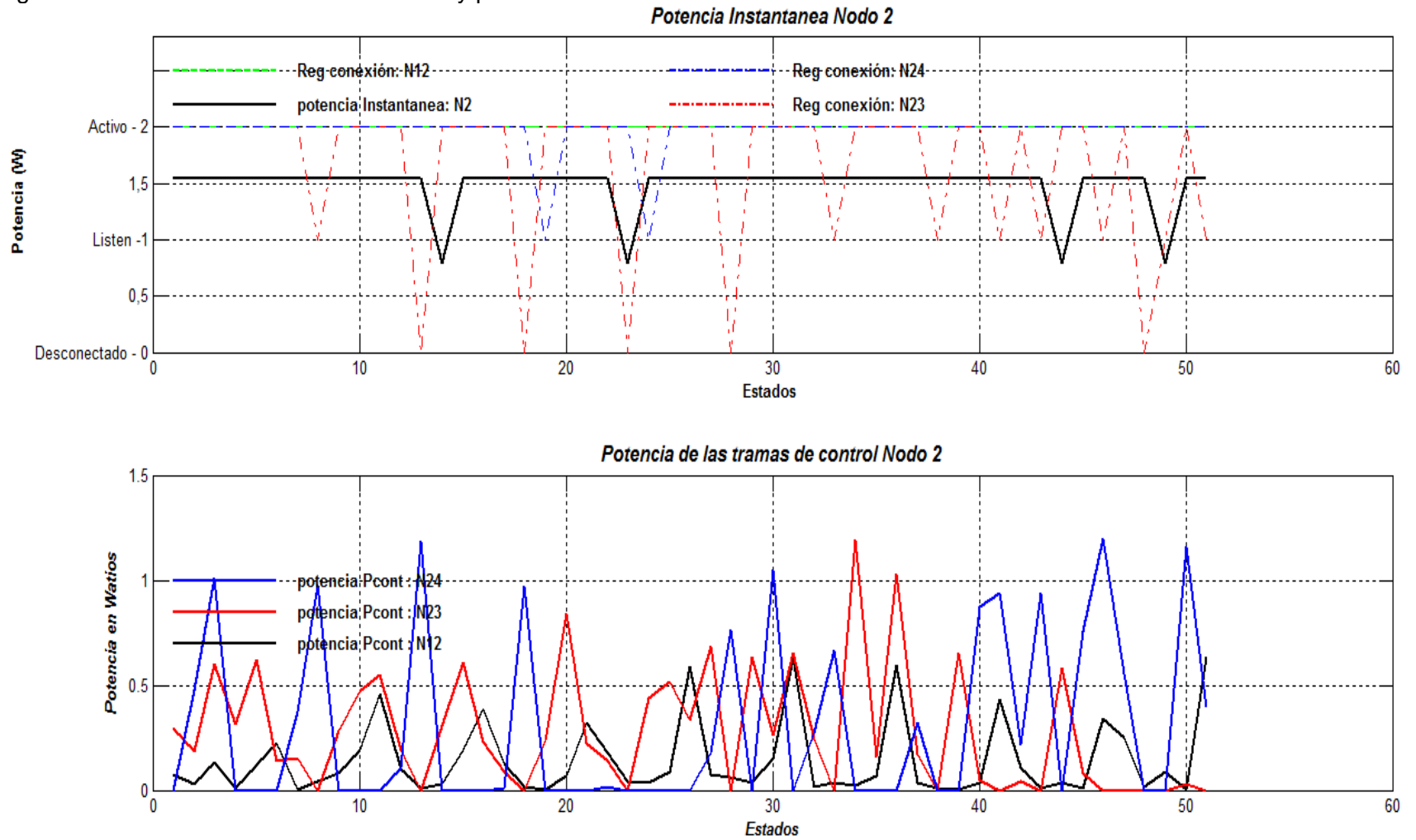


Figura 66 Potencia instantánea del nodo 3 y potencia de las tramas de control

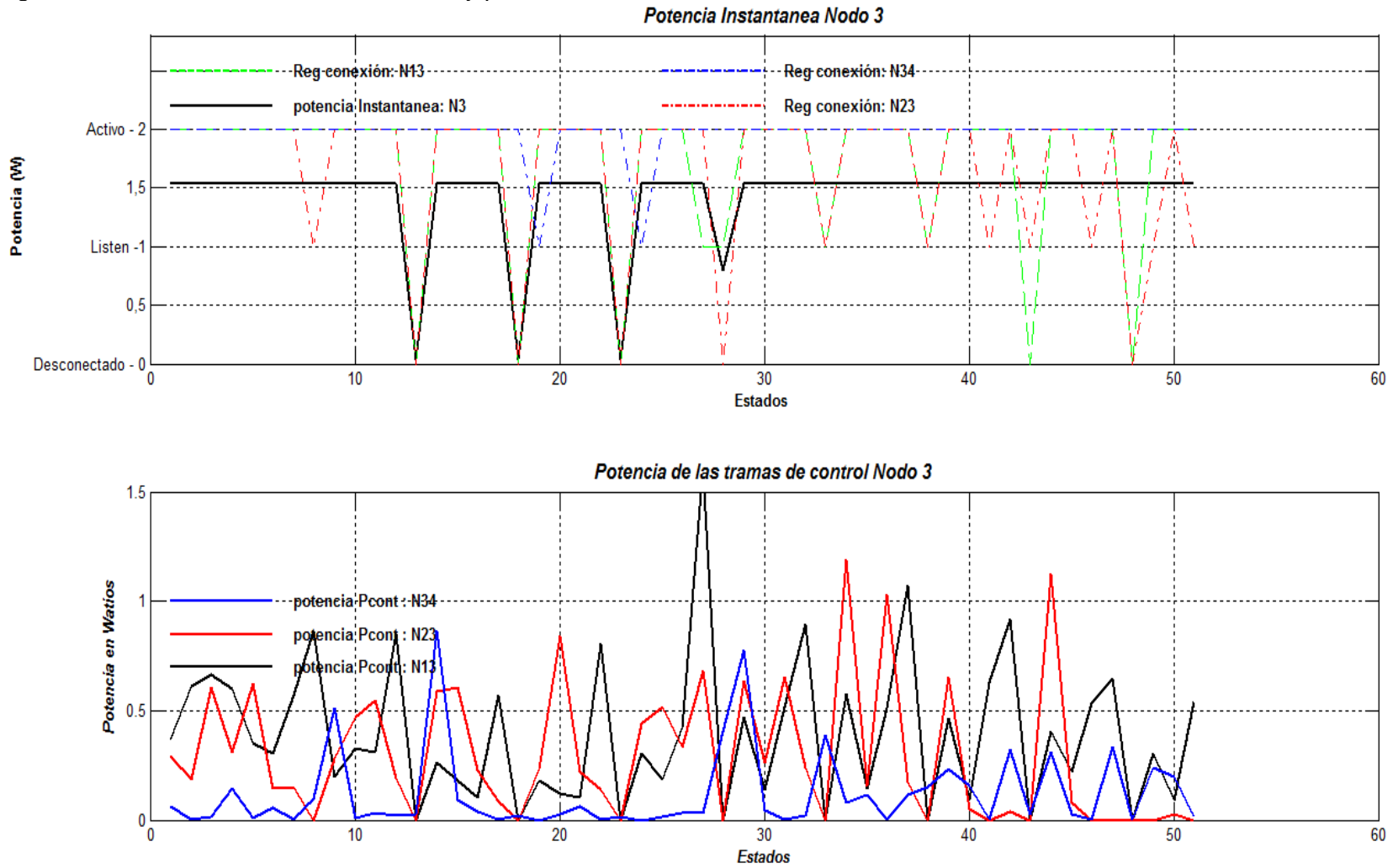
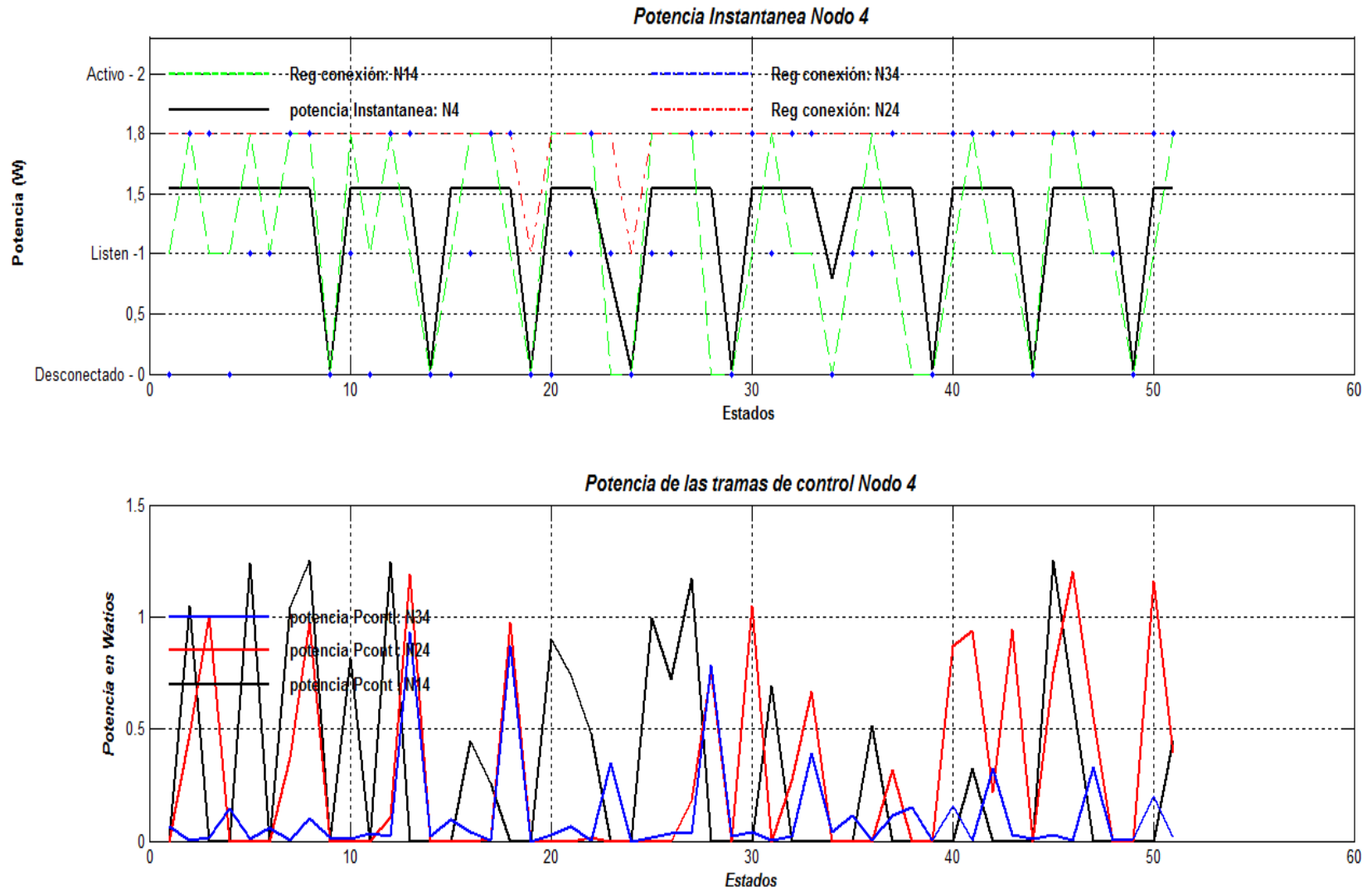


Figura 67 Potencia instantánea del nodo 4 y potencia de las tramas de control



8. CONCLUSIONES

- La tecnología 802.11b es ideal para implementar redes Ad Hoc de salto simple, esto significa que los nodos se deben encontrarse dentro del mismo rango de transmisión para establecer comunicación, esta limitación genera la necesidad de implementar algoritmos de ruteo en la capa de aplicación lo que incrementa el consumo del nodo por uso del procesador, y la no existencia de estos algoritmos aumenta el consumo por las tramas de control.
- Se analizo que la vida de la batería no es solo función de la energía consumida por bit de datos en un modo activo, si no el tiempo que debe estar en este estado.
- Se analizo el comportamiento de las diferentes métricas, concluyendo que dependen de las características de la red. Claramente la técnica comúnmente aplicada, la minimización del número de saltos, no es óptima para redes donde la gestión de la batería de la red es vital para la misma.
- Al analizar la escalabilidad en la red, se puede observar la reducción en la cantidad de mensajes de control, la organización bajo nodos por demanda y la eficiencia que esto puede brindar para el encaminamiento.
- Se corroboro que la permanente reconfiguración de rutas en la topología móvil.
- En los resultados se puede apreciar como el principal causante del incremento en el consumo de potencia es la conexión y desconexión de los nodos, causado por la movilidad de estos, fenómeno que influye sobre el tiempo de vida del enlace.
- Al analizar las simulaciones de topología homogénea con un nodo fijo, se pudo observar como el promedio de la distancia entre nodos disminuía, aumentando la vida útil de las conexiones.
- Este fenómeno de conexión y desconexión por topología difiere del problema que causa la entrada de nuevos nodos a la red donde el efecto sobre la potencia no es la topología si no la generación de nuevos enlaces que aumentan las tramas de control.

- Se demostró que el enviar los mensajes de control a máxima potencia, incrementa el consumo de energía y no influye sobre la capacidad de mantener los enlaces de la red.
- En la simulación de la solución se puede observar como con un nodo fijo que reduzca la distancia promedio entre nodos no solo reduce el consumo de potencia en los mensajes, además brinda a la red enlaces activos durante mayor espacio de tiempo lo que permite reducir los mensajes de control.
- Cuando una red Ad Hoc posee gran cantidad de conexiones activas el consumo de energía de la red y el de cada nodo se ven reducidos esto ocurre debido a que los mensajes toman diversos caminos (Multihop) para llegar a su destino, esto distribuye el consumo de energía entre los nodos activos y las conexiones activas reducen los mensajes de control.
- En condiciones de trabajo es deseable mantener la red usando una topología con conexión mínima, con el objeto de no incrementar el consumo de los nodos en la transmisión de un solo mensaje, esto se ve cuando al incrementarse el numero de nodos en la red el camino del mensaje aumenta, incrementando la latencia en la transmisión y por ende la energía consumida por los nodos.
- El problema descrito en el presente proyecto es esencialmente el impacto de la topología sobre la operación del protocolo MAC, como la topología es en la mayoría de los casos imposible de controlar la solución apunta a una modificación del protocolo MAC; debido a que las libertades sobre este aspecto están limitadas por la norma la opción es adaptar el protocolo para que comparta información con las capas superiores e inferiores para adaptarse de forma eficiente al ambiente multihop de una red ad hoc
- En este trabajo se ha puesto en evidencia la necesidad de aplicar nuevas técnicas que tengan en cuenta la energía de la red, se ha planteado una posible solución (control de topología) demostrando que puede ser eficiente.
- En una red Ad Hoc donde el numero de nodos está aumentando se puede ver en la simulación como la transmisión de datos disminuye la potencia por las tramas de control, pero aumenta el consumo por las tramas de datos y a mayor cantidad de nodos la tasa de éxitos se reduce, lo que indica que el esquema Multihop en realidad no contribuye a la reducción del consumo de potencia

9. RECOMENDACIONES

- En el caso de dispositivos que usan protocolo 802.11b, se puede optimizar la vida de la batería, si los mensajes de control no se envían usando la máxima potencia hacia los nodos en las vecindades.
- El desarrollo de la solución muestra además que si el nodo fijo se usa como referencia para el trazado de las rutas sumado a enlaces de mayor vida se logra mantener los nodos en estado IDLE reduciendo la energía consumida por la red.
- Se recomienda implementar un algoritmo de ruteo para la capa MAC o PHY de los nodos que permita realizar control sobre la topología basado en los niveles de potencia de las tramas de control.
- Quedan muchas cuestiones todavía por resolver sobre las redes ad hoc. Cualquier avance en cualquiera de las capas ayudará a formar redes más eficientes. En concreto se está poniendo énfasis en la relación de la distancian entre los nodos y la potencia de transmisión necesaria. Nuevos avances en este terreno mejorarán los resultados de los esquemas de encaminamiento que introducen la métrica de la potencia de transmisión.
- Se deja planteado una posible solución dando control a la topología, el cómo implementarla y su viabilidad se deja como trabajo para futuros trabajos de grado.
- Como trabajos futuros que se pueden hacer basados en el presente proyecto está el problema de las colisiones, el control de las rutas de transmisión y los problemas de potencia a nivel de enlace.

GLOSARIO

BSC: (Controlador de Estación Base) es el elemento de red central del BSS y controla la red de radio. (Van 2007)

BSS: Subsistema de Estación Base, es una parte de la red responsable del control de la ruta de radio (Van 2007)

BTS: (Estación Base) es un elemento de red que mantiene el interfaz Aire (Van 2007)

FreeBSD: Es un sistema operativo multiusuario, capaz de efectuar multitarea con apropiación y multiproceso en plataformas compatibles con múltiples procesadores; el funcionamiento de FreeBSD está inspirado, en la variante 4.4 BSD-Lite de UNIX. (Clayton Jade 2007)

INTERCONEXIÓN: La interconexión es la conexión física y lógica entre dos o más redes de telecomunicaciones. Su objetivo es facilitar que los usuarios de cualquier operador se puedan comunicar con los usuarios de los demás operadores, y dar acceso a los servicios ofrecidos por las distintas redes. (Clayton Jade 2007)

PROTOCOLO: Se conoce como protocolo de comunicaciones a un conjunto de reglas que especifican el intercambio de datos u órdenes durante la comunicación entre sistemas. (Clayton Jade 2007)

QoS: Calidad de Servicio (Quality of Service, en inglés) son las tecnologías que garantizan la transmisión de cierta cantidad de datos en un tiempo dado (throughput). Calidad de servicio es la capacidad de dar un buen servicio. Es especialmente importante para ciertas aplicaciones tales como la transmisión de video o voz. (Clayton Jade 2007)

TOPOLOGÍA: La topología de red o forma lógica de red se define como la cadena de comunicación que los nodos que conforman una red y usan para comunicarse. (Clayton Jade 2007)

TRIANGULACIÓN DE DELAUNAY: es una red de triángulos que cumple la condición de Delaunay. Esta condición dice que la circunferencia circunscrita de cada triángulo de la red no debe contener ningún vértice de otro triángulo (Wen-Zhan Song 2007)

802.11b: Protocolo estándar para comunicaciones inalámbricas de área local que usa DSSS a 2,4 Ghz y opera a 11Mbps.(Giuseppe Anastasi 2009)

DSSS: Por sus siglas en ingles Direct Sequence Spread Spectrum, técnica de radio que consiste en multiplicar por un patrón de bits pseudo-aleatorios llamados secuencia PN que ensancha el espectro hasta ocupar el ancho de banda disponible para el canal.(Giuseppe Anastasi 2009)

FHSS: Por sus siglas en ingles Frecuency Hopping Spread Spectrum, técnica que consiste en cambiar la frecuencia central de la portadora varias veces por segundo de acuerdo a una secuencia pseudo-aleatoria de canales.(Giuseppe Anastasi 2009)

WI-FI: (Wireless Fidelity) Conjunto de estándares para redes inalámbricas basado en las especificaciones IEEE 802.11(especialmente la 802.11b), creado para redes locales inalámbricas, pero que también se utiliza para acceso a internet.(WiFi 2009)

GRAFO: En la lingüística, un grafo es una unidad abstracta que comprende el conjunto de grafías de una letra, tiene origen griego y significa dibujo. Para la matemática y la computación un grafo es un conjunto de vértices o nodos unidos por líneas y permite estudiar las interacciones entre unidades que se interrelacionan.(J. Gross 2000)

MAC: Control de acceso al medio (Medium Access Control), Cuando los ordenadores comparten conexiones físicas para transmitir paquetes de información, se emplea un conjunto de protocolos MAC (siglas en inglés de "control de acceso al medio") para que la información fluya sin problemas a través de la red. Un protocolo MAC garantiza que el medio de transmisión no esté sin utilizar si alguna computadora tiene información que transmitir.(Electrónicos 2007)

PROTOCOLO: Los protocolos indican cómo efectuar conexiones lógicas entre las aplicaciones de la red, dirigir el movimiento de paquetes a través de la red física y minimizar las posibilidades de colisión entre paquetes enviados simultáneamente.(Giuseppe Anastasi 2009)

PROTOCOLOS PHY: Protocolos de bajo nivel utilizados para transmitir datos punto a punto.(Giuseppe Anastasi 2009)

AD HOC: Ad Hoc puede ser interpretado como "para fin específico" En redes de comunicación, una red ad hoc es aquella (especialmente inalámbrica) en la que no hay un nodo central, sino que todos los ordenadores están en igualdad de condiciones. Ad hoc es el modo más sencillo para el armado de una red.(Ilyas 2006)

HOP: En redes un hop representa una parte del camino entre la fuente y el destino, un hop es el envío de datos entre 2 nodos.(Abolhasan 2004)

ROUTER: Dispositivo físico donde convergen varios cables o dispositivos este dispositivo es típicamente de la capa 3 del modelo OSI. Su función es conectar porciones de la red y direccionar los paquetes hacia su destino.(Cisco 2007)

TRAMA: Una trama es un grupo de datos que están empaquetados en el nivel de enlace.(Cisco 2007)

COLISION: Una colisión es cuando en uno de los segmentos de red lógico los paquetes de datos pueden chocar entre sí, cuando 2 nodos envían un requerimiento al mismo punto de la red ocurre una colisión.(Cisco 2007)

CCK: La base de CCK son las secuencias Complementarias. Éstas secuencias fueron propuestas por primera vez por M.J.Golay en 1961, su principal propiedad de las secuencias empleadas es que poseen una característica de auto-correlación ideal, es decir corresponde a una delta de Krönecker perfecta.(Basagni 2004)

CSMA/CA: CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) o Distributed Coordination Function (DCF). CSMA/CA intenta evitar colisiones utilizando un paquete explícito de reconocimiento (ACK), en donde un paquete ACK es enviado por la estación receptora confirmando que el paquete de datos llegó intacto. CSMA/CA trabaja de la siguiente manera: una estación que quiere transmitir censa el aire, y si no se detecta actividad, la estación espera un tiempo adicional, seleccionado aleatoriamente y entonces transmite si el medio continúa libre (Abolhasan 2004).

BIBLIOGRAFÍA

- "Cobertura de Redes inalámbricas." from <http://static.commentcamarche.net/es.kioskea.net/pictures/wireless>.
- Abolhasan, M. W., T.; Dutkiewicz, E (2004). "A review of routing protocols for mobile ad hoc networks." IEEE.
- Azzedine Boukerche, L. B., Ed. (2009). SIMULATION AND MODELING OF WIRELESS, MOBILE, AND AD HOC NETWORKS. Mobile Ad Hoc Networking.
- Baek, S. (2008). "Performance analysis of power save mode in IEEE 802.11 infrastructure WLAN." Department of Mathematics and Telecommunication Mathematics Research Center.
- Basagni, M. C., S. Giordano, y I. Stojmenovic (2004). Mobile Ad Hoc Networking, Wiley-IEEE
- Chaudet, C. (2006). "Performance Issues with IEEE 802.11 in Ad Hoc Networking." Université de Franche-Comté.
- Chlamtac, J. J.-N. L. a. I., Ed. (2009). Mobile Ad Hoc networking with a view of 4G wireless, IEEE, JOHN WILEY & SONS, INC.
- Cisco (2007). "Fundamentos De Redes Inalámbricas." Capítulo 2 IEEE 802.11.
- Cisco (2007). "Self-Study Guide Interconnecting Cisco Network Devices." capítulo 6.
- Cisco (2007). Self-Study Guide Interconnecting Cisco Network Devices. Part 1 (ICND1).
- Cisco (2007). "Self-Study Guide Interconnecting Cisco Network Devices." Capítulo 5.
- Clayton Jade (2007). Diccionario Ilustrado De Telecomunicaciones McGRAW-HILL.
- Communications, A. (2004). Power Consumption and Energy Efficiency Comparisons of WLAN Products.

- Cordeiro, C. d. M. (2007). Ad Hoc & Sensor Networks, World Scientific.
- Electrónicos, I. d. i. E. y. (2007). "Estandar 802.11b." IEEE. from <http://www.ieee802.org>.
- Eric Brewer, M. D., Bowei Du, Kevin Fall, Melissa Ho, Matthew Kam, Sergiu Nedevschi, Joyojeet Pal, Rabin Patra, y Sonesh Surana (2004). The Case for Technology for Developing Regions. **Volume 6**: 253.
- Fernandez, S. (2008). "Modelos de una Red." Retrieved Marzo de 2009, from <http://centros5.pntic.mec.es/desanton/blogs/seclan/2006/09/modelo-bsico-de-red.html>.
- Giuseppe Anastasi, M. C., Enrico Gregori, Ed. (2009). IEEE 802.11 AD HOC NETWORKS: PROTOCOLS, PERFORMANCE, AND OPEN ISSUES. Mobile Ad hoc Networking.
- Glisic, S. G. (2009). Advanced Wireless Networks 4G Technologies.
- Hekmat, R. (2008). Ad-hoc Networks: Fundamental Properties and Network Topologies
- Hong, C. (2007). Wireless sensor networks for habitat monitoring.
- Hou, X. (2007). "A Traffic-aware Power Management Protocol for Wireless Ad Hoc Networks." Department of Information Science & Telecommunications University of Pittsburgh.
- IEEE (2006). "information technology-telecommunications and information exchange between systems-local and metropolitan area networks-specific requirements-part 11: Wireless lan medium access control (mac) and physical layer (phy) specifications." from <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=5258>.
- IEEE (2009). Retrieved Marzo de 2009, from <http://ieeexplore.ieee.org/arge/noticiasdetalle.asp.htm>.
- Ilyas, M. (2006). Ad hoc Wireless Networks. C. PRESS.
- Instruments, T. (2003). Low Power Advantage of 802.11a/g vs. 802.11b. SPLY006.

- J. Gross, J. Y. (2000). "Graph Theory and its Applications." IEEE.
- Jean-Pierre Ebert, B. B., and Adam Wolisz (2003). A trace-based approach for determining the energy consumption of a WLAN network interface, Technical University Berlin.
- Jennifer Liu, I. C., Ed. (2009). MOBILE AD HOC NETWORKING WITH A VIEW OF 4G WIRELESS: IMPERATIVES AND CHALLENGES. IEEE, Wiley.
- Juan-Carlos Cano, C. T. C., Manuel P. Malumbres, Pietro Manzoni (2009). IP-Based Quality of Service Framework for Mobile Ad Hoc Networks, Universidad Politécnica de Valencia.
- Kaveh Pahlavan, A. H. L. (2009). WIRELESS INFORMATION NETWORKS.
- Krunz, M. (2008). "Transmission Power Control in Wireless Ad Hoc Networks: Challenges, Solutions, and Open Issues." Department of Electrical and Computer Engineering The University of Arizona.
- Kumar, V. K. a. P. R. (2005). Principles and Protocols for Power Control in Wireless ad hoc Networks. IEEE Spectrum.
- Lin, T.-M. (2009). Power Consumption Issues for WLAN Systems.
- Luzuriaga, I. P. L. d. (2007). "Redes inalámbricas." IEEE.
- Macker, S. C. a. J. (2005). Mobile ad hoc networking (manet): Routing protocol performance issues and evaluation considerations. IEEE Spectrum.
- Matlab (2009). from <http://www.mathworks.com/>.
- Meza, R. R. P. (2007). "interferencia y control de potencia en redes ad hoc." IEEE.
- OMNet (2009). from <http://www.omnetpp.org/>.
- Roberto Carlos Hincapié, M., IEEE, Blanca Alicia Correa, Member, IEEE, and Laura Ospina, Member, IEEE (2008). "Survey on Clustering Techniques for Mobile Ad Hoc Networks." IEEE.
- Schiller, J. (2002). Mobile Communications. Addison-Wesley.

- Scott, K. B., N (2004). Routing and channel assignment for low power transmission in PCS. IEEE. **Proceedings of IEEE**
- SeungJong, P. R. S. (2007). "Adaptive Topology Control for Wireless Adhoc Networks." IEEE Georgia Institute of Technology.
- Shao-Qiu Xiao, M.-T. Z. a. Y. Z. (2006). Wireless Ad hoc Networking, Auerbach publications.
- Stallings, W. (2000). Local and Metropolitan Networks, Prentice Hall.
- Stefano Basagni, M. C., Silvia Giordano (2009). MOBILE AD HOC NETWORKING.
- Subir Kumar Sarkar, T. G. B., C Puttamadappa (2007). Ad Hoc Mobile Wireless Networks, AUERBACH PUBLICATIONS.
- Van, P. (2007). "performance analysis of communications Networks and systems." IEEE.
- Wen-Zhan Song, Y. W., Xiang-Yang Li, Ophir Frieder (2007). Localized Algorithms for Energy Efficient Topology in Wireless Ad Hoc Networks, IEEE.
- WiFi (2009). "Alianza WiFi ". Marzo de 2009, from http://www.wifi.org/about_overview.php
- Xiang-Yang Li, W.-Z. S., Yu Wang (2006). "Eficient Topology Control for Ad-hoc Wireless Networks with Non-uniform Transmission Ranges." IEEE.
- Xiang-Yang Li, W.-Z. S., Yu Wang (2009). "TOPOLOGY CONTROL IN WIRELESS AD HOC NETWORKS." IEEE.

ANEXO 1 LICENCIA DEL SOFTWARE

GNU GENERAL PUBLIC LICENSE (GPL)

Versión 2, Junio 1991

Copyright (C) 1989, 1991 Free Software Foundation, Inc.

51 Franklin Street, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301, USA

Está permitido copiar y distribuir copias idénticas de esta Licencia, pero no está permitida su modificación.

Figura 68 Interfaz Matlab

MATLAB® & Simulink® Release 2009a



(Matlab 2009)

Preámbulo

Las licencias de la mayoría del software están diseñadas para eliminar su libertad de compartir y modificar dicho software. Por contra, la GNU General Public License (GPL) está diseñada para garantizar su libertad de compartir y modificar el software. Software libre para garantizar la libertad de sus usuarios. Esta licencia GNU General Public License (GPL) se aplica en la mayoría de los programas realizado por la Free Software Foundation (FSF, Fundación del Software Libre) y en cualquier otro programa en los que los autores quieran aplicarla. También, muchos otros programas de la Free Software Foundation están cubiertos por la GNU Lesser General Public License (LGPL) e igualmente puede usarla para cubrir sus programas.

Cuando hablamos de Software Libre, hablamos de libertad, no de precio. Nuestra licencia General Public License (GPL) está diseñada para asegurarle las libertades de distribuir copias de Software Libre (y cobrar por ese servicio si quiere), asegurarle que recibirá el código fuente del programa o bien podrá conseguirlo si

quiere, asegurarle que puede modificar el programa o modificar algunas de sus piezas para un nuevo programa y para garantizarle que puede hacer todas estas cosas.

Para proteger sus derechos, necesitamos realizar restricciones que prohíben a cualquiera denegar estos derechos o pedirle que reniegue de sus derechos. Estas restricciones se traducen en ciertas obligaciones por su parte si usted piensa distribuir copias del programa o tiene intención de modificarlo.

Por ejemplo, si usted distribuye copias de un programa, ya sea gratuitamente o no, usted tiene que otorgar a sus clientes todos los derechos que ha adquirido usted con el programa. Usted tiene que asegurarse de que sus clientes reciben o pueden recibir el código fuente si lo solicitan y usted tiene que mostrarles los términos de la licencia para que conozcan sus derechos.

Nosotros protegemos los derechos con dos pasos:

1. utilizando el copyright en nuestros programas, y
2. ofreciéndole esta licencia que le garantiza legalmente el derecho a copia, redistribución y/o modificación de este programa.

Además, para nuestra protección y la de cada uno de los autores, queremos tener la certeza de que todo el mundo entiende que no hay ninguna garantía por este Software Libre. Si el programa es modificado por alguien más y este falla, ese software no es el original y por tanto cualquier problema introducido por otras personas no afecta a la reputación de los autores originales.

Por último, cualquier programa está amenazado constantemente por las patentes de software. Desearíamos evitar el riesgo que distribuidores de programas libres adquieran individualmente patentes, transformando de facto el software libre en privativo. Para evitar este problema, dejamos claro que cualquier patente deberá ser licenciada para permitir el uso libre de cualquier persona o no ser patentada:

```
% ===== Topología dinámica =====  
%% vectores de posición de los nodos  
[ty, nu]=size(y);  
n1p(:,1)=y(:,1); % posiciones de los nodos desde el vector inicial  
n1p(:,2)=y(:,2);  
n2p(:,1)=y(:,3);  
n2p(:,2)=y(:,4);  
n3p(:,1)=y(:,5);  
n3p(:,2)=y(:,6);
```

```

n4p(:,1)=y(:,7);
n4p(:,2)=y(:,8);

%% generación de datos de conexión
if (abs(den12) > 110) % sleep > 110, listen [95,110], recibe<95
    rcn12(i)=0;

elseif (abs(den12)<=110 && abs(den12)>=95)
    rcn12(i)=1;

else rcn12(i)=2;

end
if (abs(den13) > 110)
    rcn13(i)=0;
elseif (abs(den13)<=110 && abs(den13)>=95)
    rcn13(i)=1;
else rcn13(i)=2;
end
if (abs(den14) > 110)
    rcn14(i)=0;
elseif (abs(den14)<=110 && abs(den14)>=95)
    rcn14(i)=1;
else rcn14(i)=2;
end
if (abs(den23) > 110)
    rcn23(i)=0;
elseif (abs(den23)<=110 && abs(den23)>=95)
    rcn23(i)=1;
else rcn23(i)=2;
end
if (abs(den24) > 110)
    rcn24(i)=0;
elseif (abs(den24)<=110 && abs(den24)>=95)
    rcn24(i)=1;
else rcn24(i)=2;
end
if (abs(den34) > 110)
    rcn34(i)=0;
elseif (abs(den34)<=110 && abs(den34)>=95)
    rcn34(i)=1;
else rcn34(i)=2;
end
end

```

```

% ===== Grafos =====
n=sv(1); % vertices
wv=min(3,sv(2)); % 3 peso de los nodos
if nargin<3, % entrada de parámetros
    kind1='g';
else
    if isempty(kind),
        kind='g';
        kind1='g';
    end
    if ~ischar(kind),
        error('The argument kind must be a string!')
    else
        kind1=lower(kind(1));
    end
end
if nargin<4,
    vkind1='%d';
else
    if ~ischar(vkind),
        error('The argument vkind must be a string!')
    else
        vkind1=lower(vkind);
    end
end
if nargin<5,
    ekind1='%d';
else
    if ~ischar(ekind),
        error('The argument ekind must be a string!')
    else
        ekind1=lower(ekind);
    end
end
md=inf; % the minimal distance between vertexes
for k1=1:n-1,
    for k2=k1+1:n,
        md=min(md,sum((V(k1,:)-V(k2,:)).^2)^0.5);
    end
end
if md<eps, % identical vertexes
    error('The array V have identical rows!')
else
    V(:,1:2)=V(:,1:2)/md; % normaliza
end

```

```

r=0.1; % para multiples saltos
tr=linspace(pi/4,3*pi/4);
xr=0.5-cos(tr)/2^0.5;
yr=(sin(tr)-2^0.5/2)/(1-2^0.5/2);
t=linspace(-pi/2,3*pi/2);
xc=0.1*cos(t);
yc=0.1*sin(t);

if ~isempty(E),
    E=[zeros(m,1),[1:m]',E];
    need2=find(E(:,4)<E(:,3)); % remplaza v1<->v2
    tmp=E(need2,3);
    E(need2,3)=E(need2,4);
    E(need2,4)=tmp;
    E(need2,1)=1;
    [e1,ie1]=sort(E(:,3));
    E1=E(ie1,:);
    for k2=E1(1,3):E1(end,3),
        num2=find(E1(:,3)==k2);
        if ~isempty(num2),
            E3=E1(num2,:);
            [e3,ie3]=sort(E3(:,4));
            E4=E3(ie3,:);
            E1(num2,:)=E4;
        end
    end
    ip=find(E1(:,3)==E1(:,4));
    Ep=E1(ip,:); % loops
    E2=E1(setdiff([1:m],ip),:); end

```

ANEXO 2-OMNeT++, Modelado de Sistemas Complejos

- Cuestiones de Simulación

Cuando los sistemas son simples es posible programarlos usando un lenguaje de propósito general. La mayoría de los sistemas son bastante complejos, se requiere un software de soporte. OMNeT++ es un simulador de redes de eventos discretos orientado a objetos modular. Usos:

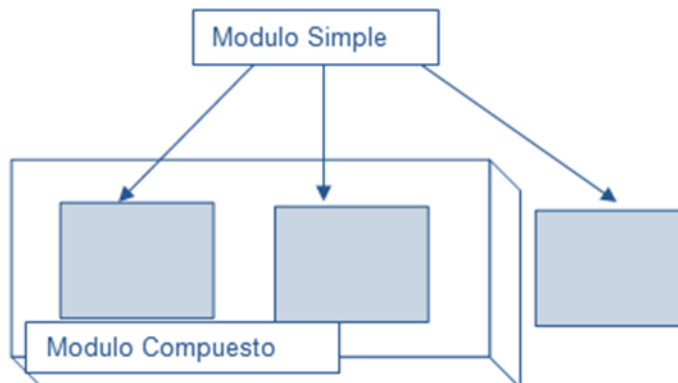
- Modelado de protocolos.
- Modelado de redes de colas

En general, modelado de cualquier sistema donde el enfoque de eventos discretos sea adecuado.

- Características principales:

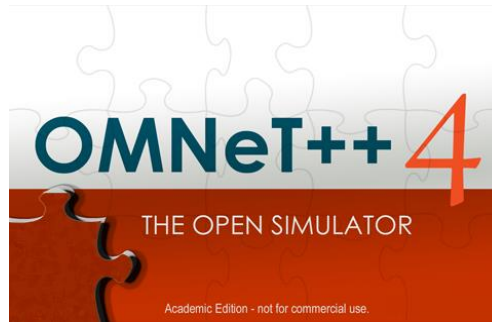
- Módulos anidados jerárquicamente
- Los módulos son instancias de tipos módulo.
- Los módulos se comunican mediante mensajes a través de canales.
- Los módulos tienen parámetros.
- Lenguaje de descripción de topología
- Construcción de la simulación
- Generar archivo NED: describe la estructura de módulos.

Figura 69. Estructura de módulos en OMNeT



(OMNet 2009)

Figura 70 Interfaz OMNet



(OMNet 2009)

- Generación de números aleatorios
 - Un generador de números pseudoaleatorios
 - Genera números enteros.
 - Basado en un algoritmo determinista.
 - Parte de una semilla inicial. Necesarios para generar distribuciones aleatorias

• Número de host

import

```
"MobileHost",  
"ChannelControl";
```

module Net80211

parameters:

```
numHosts: numeric const,  
playgroundSizeX: numeric const,  
playgroundSizeY: numeric const;
```

submodules:

```
host: MobileHost[numHosts];  
display: "i=device/pocketpc_s;r=,,#707070";  
channelcontrol: ChannelControl;
```

parameters:

```
playgroundSizeX = playgroundSizeX,  
playgroundSizeY = playgroundSizeY;  
display: "p=60,50;i=misc/sun";
```

configurator: FlatNetworkConfigurator;

parameters:

```
moduleTypes = "MobileHost",  
nonIPModuleTypes = "",  
networkAddress = "145.236.0.0",
```

```

        netmask = "255.255.0.0";
        display: "p=140,50;i=block/cogwheel_s";
        connections nocheck:
endmodule
network net80211 : Net80211

```

- Escenarios de movilidad en general

```

[Escenario de Movilidad General]
preload-ned-files = *.ned ../../NED/*.ned
;scheduler-class = "cRealTimeScheduler" ;so that speed appears realistic
;debug-on-errors = true

```

```

network = mobileNetEscenariodeAleja1

```

```

[Cmdenv]
express-mode = no

```

```

[Tkenv]
plugin-path=../../Etc/plugins
;default-run=1

```

```

[Parameters]
*.numHosts = 2
*.playgroundSizeX = 600
*.playgroundSizeY = 400
**.debug = true
**.coreDebug = 0
*.channelcontrol.carrierFrequency = 2.4e+9
*.channelcontrol.pMax = 0.001 ;2.0
*.channelcontrol.sat = -110
*.channelcontrol.alpha = 2
*.channelcontrol.numChannels = 1

**.host*.mobility.x = -1
**.host*.mobility.y = -1
**.scenarioManager.script = xmldoc("empty.xml")

```

```

[Run 1]
description = "MassMobility"
*.numHosts = 5
**.host*.mobilityType = "MassMobility"
**.host*.mobility.changeInterval = truncnormal(2, 0.5)
**.host*.mobility.changeAngleBy = normal(0, 30)

```

```
** .host*.mobility.speed = truncnormal(15, 5)
** .host*.mobility.updateInterval = 0.1
** .scenarioManager.script = xmldoc("scenario.xml")
```

[Run 2]

```
description = "RandomWPMobility"
*.numHosts = 100
** .host*.mobilityType = "RandomWPMobility"
** .host*.mobility.speed = uniform(20,50)
** .host*.mobility.waitTime = uniform(3,8)
** .host*.mobility.updateInterval = .1
```