

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE ENSENADA



DIVISIÓN DE FÍSICA APLICADA

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

ALGORITMO PARA LA DIFUSIÓN DE SEÑALIZACIÓN DE TRAMA, EN UN ESQUEMA TDMA/TDD PARA UNA RED ATM INALÁMBRICA

TESIS

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener
el grado de MAESTRO EN CIENCIAS presenta:

JOSÉ ALFREDO ABAD PADILLA

Ensenada, Baja California, México, agosto de 2001

Con todo mi amor y admiración para
la persona más importante en mi vida:

Ma. de la Luz

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitir que cumpliera una meta mas en mi vida, por tener siempre encendida una luz cuando todo lo veía oscuro.

A mis padres: José y Ma. de la Luz por todos sus sacrificios y buenos consejos y por el apoyo brindado durante mis estudios.

A mis hermanos, cuñados y sobrinos por el apoyo y cariño. Gracias a todos.

A mi asesor Dr. Jaime Sánchez por su gran ayuda y paciencia.

Gracias a los miembros del comite: Dr. Heriberto Márquez, MC. Jorge Preciado y MC. Raúl Tamayo por las atinadas observaciones hechas para el desarrollo de este trabajo de tesis.

Agradezco a todos mis amigos CACHANILLAS: Juan Carlos, Laura, Lety, Eva, Juanito, Claudia y Ceci y a mis amigas las nuevas “gringas”: Josefina y Cristina por las porras, chistes y cadenas que me enviaban a través del correo electrónico, los cuales me hacían sentir muy cerca de ellos. Mil Gracias.

Agradezco especialmente a Esmeralda la muchacha más bella, por dentro y por fuera, por su cariño y apoyo. “Cucharón de melón, sabes que vives en mi corazón”.

A mis casi hermanas Ramonchis y Aglay, las quiero desde aquí hasta el último de los planetas.

A mis grandes Amigas del CICESE, Yasbel y Mabel, por su gran corazón y por tenerme paciencia, nunca las voy a olvidar y siempre que me necesiten estaré presente. Gracias por los momentos agradables.

Al trío pesado del CICESE, Cornelio, Roque y Didier, gracias por ser buenos amigos. Esta amistad jamás terminara.

Agradezco también a mi amiga Alicia Morales, por su simpatía y nobleza, espero que encuentre la felicidad que tanto busca.

A mis buenos amigos los computólogos: Brenda, Jorge, Yoly y José, los cuales me dejaron formar parte de su grupo y con los cuales realice los viajes más divertidos durante mi estacia en Ensenada. Los quiero y les deseo lo mejor en la vida.

A mis compañeros telecos Marco, Héctor y el “paisa” Ramón Muraoka, gracias por su sincera amistad. Al igual que a todos mis compañeros de generación, controleros, microonderos y telecos: Eloisa, Victor, Panduro, Ever, Alor y Álvaro por los momentos de diversión y estudio que compartimos.

Agradezco de igual manera a Yuki y Jorge Luna por su apoyo y amistad. Les deseo éxito ahora que se han convertido en tesisistas.

De manera especial quiero agradecer al Dr. David Covarrubias por enseñarme el verdadero significado de la siguiente frase: “La importancia del hombre no radica en su conocimiento, sino en la forma de tratar a los demás”. Gracias y mi admiración.

Finalmente y no por ser menos importante, agradezco al CICESE por las facilidades prestadas para la culminación de esta nueva etapa en mi vida y a CONACYT por su apoyo económico y por apoyar a toda persona con ansias de superarse.

RESUMEN de la Tesis de **José Alfredo Abad Padilla**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en ELECTRÓNICA y TELECOMUNICACIONES. Ensenada, Baja California, México. Agosto de 2001.

ALGORITMO PARA LA DIFUSIÓN DE SEÑALIZACIÓN DE TRAMA, EN UN ESQUEMA TDMA/TDD PARA UNA RED ATM INALÁMBRICA

Resumen aprobado por:

Dr. Jaime Sánchez García
Director del comité de tesis

Con el rápido incremento de la tecnología inalámbrica y el auge por las aplicaciones multimedia, han sido muchos los sistemas que han surgido para proporcionar tales servicios en ambientes inalámbricos. Dentro de las tendencias tecnológicas predominantes, WATM (Wireless Asynchronous Transfer Mode, Modo de transferencia Asíncrono inalámbrico) se perfila fuertemente, proporcionando una diversidad de servicios garantizando la calidad requerida por cada uno de ellos. Uno de los grandes problemas a resolver es la distribución del canal radio entre el grupo de usuarios solicitantes proporcionando las mejores prestaciones de servicios durante su utilización, esto, aunado a la hostilidad del canal radio, da como resultado un arduo trabajo de investigación en el diseño de un protocolo de control de acceso al medio (MAC, Medium Access Control) para los sistemas WATM con la finalidad de lograr su adaptación al canal.

De la serie de propuestas con las que se cuenta sobre protocolos MAC y que utilizan la técnica TDMA (Time Division Multiple Access, acceso múltiple por división del tiempo), en este trabajo de tesis de maestría se toma la presentada por el Dr. Jaime Sánchez García en su tesis doctoral, la cual emplea el esquema TDMA/TDD (TDMA with Time Division Duplex, TDMA con duplex por división del tiempo) teniendo como base una trama TDMA/TDD compuesta de 64 ranuras, la cual proporciona dos ranuras para el envío de señalización a través de la difusión de un mensaje. Este mensaje controla el uso eficiente del ancho de banda requerido por el usuario para la transmisión y recepción de información. La difusión del mensaje de señalización se realiza al inicio de cada trama. Este trabajo de tesis presenta el desarrollo, implementación y simulación en OPNET (Optimized Network Engineering Tools, Herramientas de Ingeniería para Optimización de Redes) del esquema TDMA/TDD, enfocado principalmente en la señalización del mismo y retomando los trabajos previos a éste, presentándose para ello, los resultados de su evaluación en la prestación de los servicios.

Palabras claves: WATM, MAC, TDMA/TDD, mensaje de señalización.

ABSTRACT of the Thesis of **Jose Alfredo Abad Padilla**, presented as a partial requirement to obtain the Master in sciences degree in ELECTRONIC and TELECOMMUNICATIONS. Ensenada, Baja California, Mexico. August 2001.

**ALGORITHM FOR FRAME SIGNALING BROADCASTING ON A TDMA/TDD SCHEME FOR
A WIRELESS ATM NETWORK**

As a result of the wireless technology increment and the demand on multimedia applications, a lot of systems are emerging in order to provide such services under a wireless environment. WATM (Wireless Asynchronous Transfer Mode) is growing as a dominant trend in wireless technology, handling different services with their related quality of service requirements. One of many problems to resolve is the radio channel allocation to active users in a fair and efficient manner. Those and the complex radio environment yield a hard research efforts in the designing of a MAC (Medium Access Control) protocol to support the complicated radio channel.

From the MAC protocol proposals related to the TDMA (Time Division Multiple Access) technique, in this thesis is taken the one presented by Dr. Jaime Sanchez Garcia in his doctoral thesis, that uses TDMA/TDD (TDMA with Time Division Duplex) scheme having as a basis a 64 slot frame, where 2 slots provide signaling to the remote terminals by broadcasting a message. The signaling message controls the efficient utilization of the bandwidth for the transmission and reception of the user's information. This message is broadcasted at the very beginning of the frame. This thesis present the development, implementation and simulation of the TDMA/TDD scheme in OPNET (OPTimized Network Engineering Tools) simulator, focusing on its signaling and presenting performance results such as throughput and delay.

Keywords: WATM, MAC, TDMA/TDD, signaling message.

CONTENIDO

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	1
I.1 Antecedentes	12
I.2 Planteamiento del problema.....	14
I.3 Objetivos	14
I.4 Infraestructura	15
I.5 Organización de la tesis	16
CAPÍTULO II WATM	18
II.1 Introducción.....	18
II.2 Razón de existencia de WATM.....	19
II.3 Arquitectura de WATM.....	21
II.3.1 Requerimientos	21
II.3.1.1 Acceso de red.....	21
II.3.1.2 Ambientes	22
II.3.1.3 Servicios y QoS	23
II.3.1.4 Funciones	24
II.3.2 Arquitectura WATM.....	25
II.4 Capa física de radio	26
II.5 Capa MAC	27
II.6 Espectro de frecuencia.....	28
CAPÍTULO III CANAL RADIO	29
III.1 Introducción.....	29
III.2 Propagación de las ondas de radio	30
III.2.1 Propagación multitrayectoria.....	30
III.2.2 Efectos de la propagación multitrayectoria	31
III.3 Cobertura de propagación	33
III.4 Modulación digital	34
III.4.1 ASK	34
III.4.2 FSK.....	35
III.4.3 PSK.....	36
III.4.4 MSK	37
III.5 Técnicas de Acceso Múltiple	37
III.5.1 FDMA.....	38
III.5.2 TDMA	39
III.5.3 CDMA	39
CAPÍTULO IV PROTOCOLOS MAC	41
IV.1 Introducción	41
IV.2 Protocolos MAC que emplean la técnica TDMA	41
IV.3 Protocolo MAC propuesto	44
IV.3.1 Trama TDD	44
IV.3.2 Paquetes utilizados	45

IV.3.3 Asignación de las ranuras.....	47
IV.3.4 Retransmisión basado en prioridad de potencia.....	48
IV.3.5 Aumento o disminución de minirranuras	50
IV.3.6 Desplazamiento del umbral.....	50
CAPÍTULO V ALGORITMO PARA LA DIFUSIÓN DE SEÑALIZACIÓN DE TRAMA	
PROPUESTO	52
V.1 Señalización.....	52
V.2 Mensaje de señalización.....	53
V.3 Consideraciones para el algoritmo para la difusión de señalización.....	56
V.4 Desarrollo del algoritmo para la difusión de señalización	57
V.4.1 Generación del mensaje de señalización	58
V.4.2 Lectura del mensaje de señalización.....	59
V.5 Piggyback	61
CAPÍTULO VI IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DEL MODELO.....	64
VI.1 Implementación.....	64
VI.1.1 Modelo de red.....	65
VI.1.2 Modelo de nodo.....	66
VI.1.2.1 Modelo de nodo de la estación base.....	67
VI.1.2.2 Modelo de nodo de las terminales remotas	68
VI.1.3 Modelo de proceso	70
VI.1.3.1 Modelos de proceso de la estación base.....	71
VI.1.3.2 Modelos de proceso de las terminales remotas	74
VI.2 Simulación.....	77
VI.2.1 Consideraciones de simulación	77
VI.2.2 Parámetros de simulación.....	79
VI.2.2.1 Caracterización del tráfico.....	79
VI.2.2.2 Caracterización del canal radio	80
VI.2.3 Escenario de simulación.....	81
VI.2.4 Parámetros de desempeño	81
CAPÍTULO VII ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	83
VII.1 Caudal eficaz.....	83
VII.2 Goodput	87
VII.3 Retransmisiones	88
VII.4 Paquetes de petición perdidos.....	89
VII.5 Porcentaje de recepción	91
VII.6 Retardo medio.....	92
VII.7 Retardo en el servicio	94
CAPÍTULO VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
VIII.1 Conclusiones.....	97
VIII.2 Recomendaciones	98
VIII.3 Trabajos futuros.....	99
REFERENCIAS.....	100
APÉNDICE A.....	102
APÉNDICE B.....	106
ACRÓNIMOS	111

FIGURAS

Figura 1. Aspectos en el diseño de ATM inalámbrico	22
Figura 2. Arquitectura de ATM inalámbrico.....	26
Figura 3. Propagación multitrayectoria.	31
Figura 4. Efecto de sombreado.....	32
Figura 5. Interferencia multitrayectoria.....	32
Figura 6. Modulación ASK	35
Figura 7. Modulación FSK.....	36
Figura 8. Modulación BPSK	37
Figura 9. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).....	38
Figura 10. Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)	39
Figura 11. Acceso múltiple por división de código.....	40
Figura 12. Estructura de la trama TDD	44
Figura 13. Paquete de petición, de transmisión ascendente, de transmisión descendente y mensaje de señalización.	45
Figura 14. Asignación de las ranuras en la trama TDMA/TDD.....	47
Figura 15. Mensaje de señalización.....	53
Figura 16. Campo de control de potencia (información para 1 de las 5 terminales).....	54
Figura 17. Campo de reconocimientos (información para 1 de los 7 posibles peticiones)..	55
Figura 18. Arquitectura de la red WATM utilizada	57
Figura 19. Diagrama de operación de la estación base.	60
Figura 20. Diagrama de operación de las terminales remotas.....	62
Figura 21. Modelo de red	66
Figura 22. Modelo de nodo de la estación base.....	67
Figura 23. Modelo de nodo de la terminal remota	69
Figura 24. Máquina de estado finito.....	71
Figura 25. Modelo de proceso de la técnica TDMA	72
Figura 26. Modelo de proceso de la base correspondiente a la capa MAC.....	73
Figura 27. Modelo de proceso de la terminal correspondiente a la capa MAC	74
Figura 28. Modelo de proceso de la terminal para la generación de los diferentes tipos de tráfico.....	76
Figura 29. Caudal eficaz contra tráfico ofrecido utilizando 3 minirranuras	84
Figura 30. Caudal eficaz contra tráfico ofrecido utilizando 7 minirranuras	85

Figura 31. Caudal eficaz generado por las terminales remotas a) con 3 miniranuras, b) con 7 miniranuras	86
Figura 32. Goodput en función del tráfico ofrecido	87
Figura 33. Retransmisión de peticiones contra tráfico ofrecido	88
Figura 34. Peticiones perdidas contra tráfico ofrecido	90
Figura 35. Probabilidad de captura.....	91
Figura 36. Retardo medio contra tráfico ofrecido por grupos	92
Figura 37. Retardo medio contra trafico ofrecido por tipos de servicio.....	93
Figura 38. Retardo en el servicio contra tráfico ofrecido	95
Figura 39. Retardo en el servicio contra tráfico ofrecido. Gráfica presentada en [Ayala Hernández, 2000]	96
Figura 40. Pérdida por trayectoria, desvanecimiento lento y desvanecimiento rápido	102
Figura 41. Throughput de ALOHA y de S-ALOHA.....	108
Figura 42. Throughput para S-ALOHA para un umbral $z=2$ y un factor de Rician $K=2,4,6$ y 8	110

TABLAS

Tabla I. Redes y técnicas de acceso inalámbrico.....	19
Tabla II. Prioridad en los servicios.....	47
Tabla III. Niveles de potencia asignados a los grupos de servicio.....	49
Tabla IV. Características principales del esquema TDMA/TDD.....	51
Tabla V. Dominios de modelado.....	64
Tabla VI. Características del tráfico.....	79
Tabla VII. Características del canal radio.....	80

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

I.1 ANTECEDENTES

En la última década ha habido un rápido crecimiento de tecnología en la comunicación inalámbrica. La comunicación de voz a través de los teléfonos celulares ha madurado y se ha convertido en parte importante en la actualidad. Recientemente, el surgimiento de dispositivos portátiles de cómputo tal como “notebook”, “palmtop” y asistentes digitales personales ha permitido que servicios como correo electrónico, fax y programas de agenda puedan llegar a usuarios móviles o nómadas. Observando esta tendencia, se puede predecir que el tráfico sobre las redes de próxima generación e inalámbrica de alta velocidad será dominado por las aplicaciones personales multimedia como video o noticias bajo demanda, servicios de telemetría, sistemas de información para viajeros, información de la Web, por mencionar algunas.

Estas actividades inalámbricas de tercera generación están enfocadas sobre los esfuerzos realizados por UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) e IMT-2000 (International Mobile Telecommunications) que consideran a la tecnología ATM (Asynchronous Transfer Mode) para la implementación de redes.

ATM fue originalmente vista como la tecnología de comunicación multimedia. Un dicho típico a mediados de los 80's fue: ATM es capaz de manejar diversidad de tráfico, tales como voz, datos y video de manera eficiente [Takahashi T., 2000].

Actualmente, las comunicaciones multimedia están basadas en TCP/IP. La complejidad de los dispositivos de las redes ATM provoca que no sea muy atractiva a pesar de su capacidad multimedia, y por lo tanto que sea solo empleada en el transporte de datos. Sin embargo, los sistemas móviles de tercera generación, o W-CDMA (Wide-band Code Division Multiple Access) serán una fuerte influencia que conduzca al desarrollo de ATM.

Inclusive se ha empezado a pensar en el reemplazo de la red dorsal telefónica actual por una orientada a paquetes.

La combinación de tecnología inalámbrica y ATM ha resultado en la tecnología ATM inalámbrica (WATM), la cual es vista como la combinación de interfaces aéreas inalámbricas y nuevas funciones requeridas por una red fija ATM para el soporte de usuarios móviles. Su ventaja principal radica en la extensión del canal radio de ATM hacia usuarios móviles de una manera transparente.

Los beneficios de la tecnología WATM deben ser vistos por los usuarios como un mejoramiento en servicio y acceso. A través de preservar las características de transmisión ATM, WATM ofrece la promesa de mejor desempeño y calidad de servicio (QoS) no alcanzado por otro sistema de comunicación inalámbrica.

Uno de los aspectos más importantes para el desempeño de WATM es el protocolo de control de acceso al medio (MAC). El protocolo MAC debe ser capaz de manejar satisfactoriamente los diversos servicios ATM : CBR (Constant Bit Rate, tasa de bit constante), VBR (Variable Bit Rate, tasa de bit variable), ABR (Available Bit Rate, tasa de bit disponible) y UBR (Unspecified Bit Rate, tasa de bit no especificada) con sus diferentes requerimientos. De igual forma, el protocolo debe ser capaz de soportar el ambiente complejo del canal radio donde el desvanecimiento, la interferencia por propagación multirayectoria y la alta susceptibilidad al error complican la situación.

Típicamente los esquemas inalámbricos MAC han sido diseñados tanto para conexiones con tasa de bit baja como alta. Con WATM hay una evidente necesidad de soportar simultáneamente conexiones con ambas tasas de bit, ya que las aplicaciones explotan el intervalo ofrecido por la tecnología de transferencia ATM que va desde voz hasta datos. La mayoría de los métodos propuestos para WATM hasta la fecha son representativos de alguna clase de esquema ranurado o controlado desde una central [Mikkonen J. y Nenonen L., 1998].

Estos protocolos son utilizados por las terminales móviles para solicitar servicio a una estación base, la cual tiene que considerar la QoS de la aplicación específica solicitada [Huang H. *et al.* 2000].

I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente se cuenta con una serie de propuestas de protocolos MAC para WATM que utilizan la técnica TDMA, entre las cuales se encuentra la presentada por el Dr. Jaime Sánchez García, la cual emplea un esquema TDMA/TDD, dicha propuesta es tomada como base fundamental de este trabajo de tesis de maestría. Se pretende implementar control de acceso de las terminales al medio, control que será llevado a cabo por la estación base, la cual empleando un mensaje de señalización que será difundido a las terminales les informará sobre el estado del canal. La información que recibirán las terminales indicarán aspectos importantes como la ranura o ranuras que les fueron asignadas para transmitir, el límite entre las subtramas del enlace ascendente y del enlace descendente, el número de minirranuras de contención, la potencia de transmisión o el reconocimiento a su petición de acceso. Con la implementación del mensaje de señalización se pretende mejorar la eficiencia en el uso del canal, disminuir las colisiones entre paquetes y garantizar el QoS requerido por cada uno de los distintos servicios que se ofrecen. El nombre adoptado por este trabajo de tesis de maestría es “Algoritmo para la difusión de señalización de trama, en un esquema TDMA/TDD para una red ATM inalámbrica”. Con este algoritmo se generará y difundirá el mensaje de señalización de la estación base hacia las terminales que se encuentren en una misma área, en este caso en la misma picocelda, utilizando una portadora de 6 GHz, y una tasa de transmisión de 23 Mbps.

I.3 OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo de tesis es:

- ✓ Implementar un algoritmo para generar y actualizar el mensaje de señalización, que será transmitido por la base, al inicio de cada trama, a todas las terminales que se encuentran dentro del área. La difusión de este mensaje forma parte del protocolo MAC, para una red ATM inalámbrica, que se ha venido desarrollando en el DET (Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones), desde mediados de 1998.

Objetivos particulares:

- ✓ Diseño del proceso de operación de la estación base para la construcción y difusión del mensaje de señalización.
- ✓ Implementación del piggyback (acarreo) en las terminales, con la finalidad de reducir el número de paquetes de petición y evitar que la terminal con ranuras asignadas tenga que contender por el canal cada que requiera transmitir información.
- ✓ Contribuir a incrementar la eficiencia del uso del canal radio y mantener la calidad de servicio (QoS) de los diferentes tipos de servicio que se ofrecen.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos por este algoritmo y comparar contra los obtenidos por el algoritmo desarrollado por Felipe de Jesús Ayala H. en su trabajo de tesis de maestría, con la finalidad de establecer el desempeño del esquema TDMA/TDD.

I.4 INFRAESTRUCTURA

Para la implementación, simulación y análisis del algoritmo que será presentando en los siguientes capítulos de este trabajo de tesis se contó con la siguiente infraestructura que en su mayor parte fue proporcionada por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y que a continuación se enlista:

- ✓ Estación de Trabajo Sun Ultra10.
- ✓ Computadora Personal Pentium III de 700 Mhz.
- ✓ Herramienta de simulación OPNET Modeler, versión 7.0B de la compañía Mil 3.
- ✓ Red local del departamento de Electrónica y Telecomunicaciones de la división de Física Aplicada.
- ✓ Material Bibliográfico perteneciente a la biblioteca de CICESE.
- ✓ Programas de aplicación tales como: Matlab, Word, Powerpoint, Netscape.
- ✓ Acceso a internet.

I.5 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

El contenido de este trabajo de tesis está desarrollado de la siguiente forma:

En el capítulo II se presenta información correspondiente a los aspectos involucrados con el concepto WATM, así como los razonamientos que justifican su existencia. Se presenta información sobre la técnica de transporte ATM la cual da base a los sistemas ATM inalámbricos, se plantean algunos requerimientos para el diseño de dichos sistemas como por ejemplo ambientes en los que opera, funciones que realiza o servicios que ofrece con sus respectivas especificaciones de calidad, de igual manera se describen las capas física y la de control de acceso al medio, en donde las dos propuestas principales para la capa física de WATM son las de espectro esparcido y las multicanalizadas por división del tiempo, abocándose a estas últimas, ya que forman la base del esquema que se analiza en este trabajo de tesis.

En el capítulo III se aborda el hostil y poco confiable canal radio, los problemas y las restricciones que ofrece para la operación de cualquier sistema inalámbrico. Las adversidades del medio como la atenuación, ruido y desvanecimientos, así como aspectos necesarios como modulación para contribuir a la propagación de las señales a través del canal radio.

Uno de los aspectos importante para el buen desempeño de una red en general es su acceso al medio, razón por lo cual se debe contar con un protocolo de acceso al medio (MAC), el cual deberá ser capaz de manipular los diversos servicios que esta ofrece sin descuidar sus parámetros de calidad, y esto es abordado en el capítulo IV, presentando las características del protocolo propuesto.

El desarrollo del algoritmo correspondiente al protocolo propuesto es presentado en el capítulo V, aquí se describe el proceso de difusión del mensaje de señalización, a través del cual la base mantiene el control del acceso de la terminales remotas al medio, se muestra la estructura del mensaje y las actividades encaminadas al uso, generación e interpretación de dicho mensaje.

La implementación y simulación del algoritmo de difusión de señalización es mostrado en el capítulo VI, para lo cual fue utilizada la herramienta de simulación OPNET. En este capítulo se hace una descripción de la arquitectura del sistema inalámbrico en el cual fue implementado el algoritmo y los modelos necesarios para su desarrollo dentro de la programación OPNET. Cabe mencionar que OPNET emplea modelos de red, modelos de nodo y modelos de procesos para la implementación y simulación de casi cualquier sistema de comunicación. De igual manera se presentan las consideraciones tomadas para llevar a cabo la simulación del mismo sistema.

En el capítulo VII se analizan los resultados arrojados por las diferentes pruebas realizadas al algoritmo implementado, apoyándose para esto en las gráficas construidas en base a la información captada.

Finalmente, en el capítulo VIII se presentan las conclusiones a las que se llegaron a través del análisis, además de recomendaciones y futuras líneas de investigación.

CAPÍTULO II WATM

II.1 INTRODUCCIÓN

La técnica ATM con señalización B-ISDN se está convirtiendo en el común denominador para todo tipo de redes y servicios. Desde el punto de vista de servicios, ATM puede combinar la transmisión de voz y datos dentro de las redes alambradas, mientras se escala de manera eficiente en los diferentes tipos de redes tales como LANs (Local Area Network, redes de área local), MANs (Metropolitan Area Networks, redes de área metropolitana) y WANs (Wide Area Networks, redes de área amplia). De hecho, la intención original de ATM era formar una red dorsal para transmisión de datos a alta velocidad sin importar el tipo de tráfico. Posteriormente fue vista por los sistemas de telecomunicaciones como la tecnología de transporte especialmente buena y atractiva para la conexión de grupos de redes de clientes de alta velocidad.

Con la finalidad de asegurar el éxito de ATM, la tecnología debe ser estandarizada. Esto es realizado por varios cuerpos y comités tales como la ITU y ATM Forum. Sin embargo, con respecto al manejo de movilidad y algunos aspectos inalámbricos relacionados con futuros usuarios ATM/B-ISDN, el trabajo de estos foros ha sido muy débil. La razón de lo anterior, probablemente, es consecuencia del poco empuje de las actividades ATM inalámbricas, que por otra parte parecen estar esperando que las redes ATM/B-ISDN alambradas se fortalezcan antes de empezar sus propios esfuerzos.

ATM está planeada para proveer una transmisión de forma independiente de la velocidad de transmisión y el ancho de banda puede ser provisto bajo demanda solo cuando exista un desaprovechamiento de éste. Con ATM inalámbrico se tiene un evidente problema, la transmisión a una alta tasa de bit es difícil de manejar y la disponibilidad de frecuencias es un recurso limitado.

II.2 RAZÓN DE EXISTENCIA DE WATM

Con la amplia variedad de productos para la transmisión inalámbrica de datos se debe ser cuidadoso en la elección de redes y en el desarrollo de nuevas técnicas de acceso inalámbrico. La justificación detrás del desarrollo de las técnicas de acceso para las redes ATM/B-ISDN puede ser vista desde ambos puntos tecnológico e histórico. Las principales razones son las siguientes:

- ✓ Los usuarios demandarán acceso inalámbrico hacia las redes ATM/B-ISDN,
- ✓ Las aplicaciones multimedia necesitan una plataforma inalámbrica con soporte multimedia, y
- ✓ Debido a que UMTS y LANs inalámbricas no podrán soportar las necesidades futuras de información de los usuarios.

La tendencia de los usuarios es la búsqueda de accesos ilimitados en redes alambradas, sin embargo se observa que las redes alambradas comunes tienen su propia extensión inalámbrica (véase la tabla I). ISDN obtiene su acceso inalámbrico de DECT. Internet puede ser accesado a través de diversas técnicas. HIPERLAN es vista con un excelente acceso por las redes de área local.

Tabla I. Redes y técnicas de acceso inalámbrico.

Acceso inalámbrico	Tasa de datos alcanzada	Red dorsal
DECT	<1 Mbps (por usuario)	ISDN
GSM, CDPD	<144 kbps (por usuario)	Internet
WLANS	300 kbps-2 Mbps (compartido)	LAN
HIPERLAN	<20 Mbps (compartido)	LAN

En general, la interoperabilidad será siempre vista como la solución para extender el acceso inalámbrico hacia cualquier red dorsal común, sin embargo, esto trae como consecuencia la pérdida de las características de calidad de servicio ATM y conexiones originales. A mayor interoperabilidad menor armonía entre los servicios que ofrecen las redes a los usuarios. Por tal motivo, es importante ser capaz de ofrecer una extensión inalámbrica apropiada hacia la infraestructura de red ATM.

Existen muchas aplicaciones que juntas cumplen con los requerimientos tanto para redes ATM alambreadas como inalámbricas. Existen dos tipos genéricos de información que las aplicaciones requieren:

- ✓ Cantidad fija de información a ser transferida o,
- ✓ Ráfagas de información que debe ser caracterizada en función de la tasa de datos y retardo.

Las aplicaciones multimedia involucran ambos tipos de transferencia de información mencionadas anteriormente. Usuarios de aplicaciones interactivas requieren diferentes tipos de soporte de conexión para la transmisión de imágenes, texto, voz o video sobre la red. ATM es el mecanismo de transporte que conjunta todos estos requerimientos y es capaz de soportar diferentes tipos de conexiones con diferentes parámetros QoS, esto es tráfico con tasa de bit constante, con tasa de bit variable y tasa de bit disponible.

Los beneficios de la tecnología de acceso inalámbrico ATM deben ser observados por los usuarios como un mejoramiento tanto en servicio como en accesibilidad. A través de conservar las características esenciales de la transmisión ATM, ATM inalámbrico se compromete a mejorar el desempeño cumpliendo con la calidad de servicio, no sostenible por algún otro sistema de comunicación inalámbrico tales como sistemas celulares o redes de área local inalámbricas. En forma adicional, los accesos ATM inalámbricos proveen independencia de lugar lo que elimina el factor limitante mayor en el uso de computadoras y equipos de telecomunicación en las redes alambreadas.

II.3 ARQUITECTURA DE WATM

II.3.1 REQUERIMIENTOS

El diseño de los sistemas ATM inalámbricos debe tener su visión puesta sobre los futuros usuarios de comunicaciones inalámbricas y así tener una base sólida comercialmente hablando detrás del desarrollo tecnológico. En la actualidad existen LANs inalámbricos u otros sistemas que ofrecen servicios y movilidad en la información. Los nuevos servicios deben tomar en cuenta a los usuarios finales y la flexibilidad de plataformas para las aplicaciones.

El objetivo general de la mayoría de las propuestas ATM inalámbricas es diseñar una red de servicios integrados inalámbrica basada en las capacidades de la red ATM de una manera transparente, sin pérdidas y eficiente. Esto significa que los sistemas propuestos deben soportar de manera razonable la gama de servicios, tasas de bit, y niveles de calidad de servicio asociados a ATM. Es reconocido que existirán diferencias cualitativas en la prestación de servicio debido a las limitaciones fundamentales del canal radio, pero se espera sean mínimas.

En la figura 1 se muestran los cuatro aspectos que establecen los requerimientos y/o restricciones en el diseño de los sistemas ATM inalámbricos. Estos requerimientos pueden ser divididos en cuatro diferentes categorías las cuales son funciones del sistema, servicios ofrecidos, ambientes soportados y acceso a redes fijas.

II.3.1.1 Acceso de red

El acceso de red es la búsqueda de la solución al problema de como extender ATM y la señalización ISDN a los usuarios inalámbricos finales a través del enlace radio, el cual es poco confiable, y a la forma de incluir movilidad dentro de la red ATM inalámbrica.

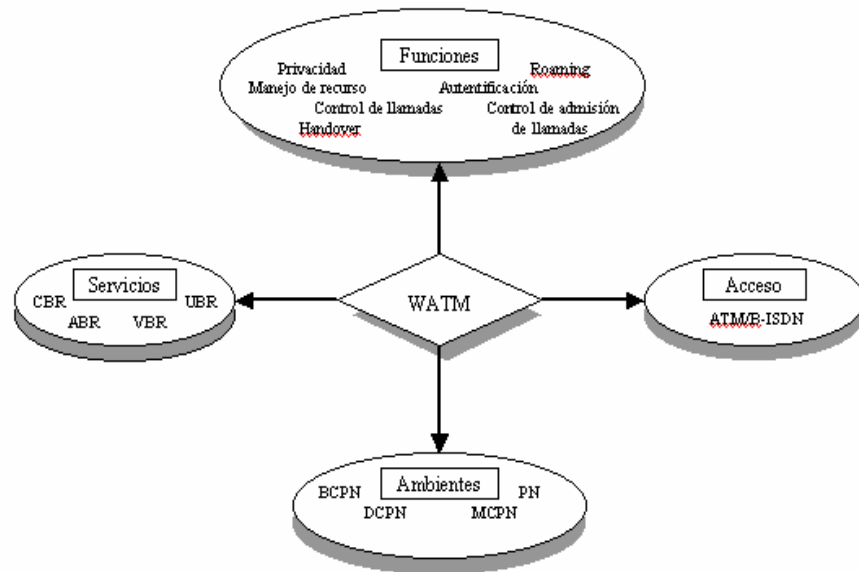


Figura 1. Aspectos en el diseño de ATM inalámbrico

II.3.1.2 Ambientes

Dentro de la tecnología inalámbrica, el diseño de una interfaz aérea que sea capaz de soportar la mezcla de tasas de bit y parámetros de calidad en todo tipo de ambientes, se convierte sin duda en una actividad sumamente difícil. Por lo general, un sistema debe ser diseñado para ofrecer soporte en un ambiente específico. Para que un sistema sea eficiente, los ambientes soportados deberán ser definidos bajo las restricciones tecnológicas y de mercado. Algunos de estos ambientes son listados a continuación [Rokitansky C. y Hussman H., 1993] junto con sus especificaciones típicas:

- ✓ DCPN (Domestic Customer Premises Network, red local de cliente doméstico), cubre ambientes relacionados al hogar en los cuales no se requiere una actualización de posiciones y el sistema se reduce a la extensión radio de una red de banda amplia. El ambiente es caracterizado a través de un área de cobertura donde el servicio ATM inalámbrico es provisto para una área pequeña, áreas aisladas, o quizás para células individuales.

- ✓ BCPN (Business Customer Premises Network, red local de cliente comercial), es una red privada que cubre grandes edificios comerciales. Ofrece funciones de conmutación dentro del área de cobertura y algunas otras necesarias también dentro del ambiente multi-celular.
- ✓ MCPN (Mobile Customer Premises Network, red local de cliente móvil), provee cobertura dentro de una unidad con movimiento, por ejemplo, un tren. La diferencia con DCPN y BCPN es que requiere una interfaz aérea para proveer acceso a la red fija.
- ✓ PN (Public Network, red pública), Con características similares a una red móvil pública terrena como GSM, provee funciones de “paging”, “roaming”, y “handover”.

II.3.1.3 Servicios y QoS

ATM inalámbrica soporta una amplia gama de servicios, los cuales han sido divididos en cinco diferentes categorías. Las cuales son:

- ✓ CBR (Constant Bit Rate, tasa de bit constante),
- ✓ rt-VBR (real time Variable Bit Rate, tasa de bit variable en tiempo real),
- ✓ nrt-VBR (non real time VBR, VBR en tiempo no real),
- ✓ ABR (Available Bit Rate, tasa de bit disponible) y
- ✓ UBR (Unspecific Bit Rate, tasa de bit no especificada).

Estas categorías relacionan las características de tráfico y requerimientos QoS con el comportamiento de la red [Andrikopoulos I. *et al.*, 2000]. El QoS (calidad de servicio) define el desempeño de una red en términos de retardo y ofrecimientos de la conexión. Se establece un contrato de conexión entre usuario final y red a través de los parámetros QoS y los parámetros de tráfico.

CBR y rt-VBR son para aplicaciones en tiempo real, mientras que nrt-VBR, ABR y UBR son empleadas para aplicaciones en tiempo no real. El grupo de tiempo real tiene predefinido los requerimientos de ancho de banda, retardo y pérdidas de celdas. En cambio, en el de tiempo no real, no se tiene definido claramente los requerimientos de ancho de banda y retardo y típicamente pueden soportar un retardo mayor y variación en el retardo.

Los parámetros de tráfico difieren entre cada uno de los servicios ofrecidos. CBR está caracterizado por el PCR (Peak Cell Rate, tasa pico de celda), maxCTD (maximum tolerable Cell Transfer Delay, retardo de transferencia de celdas máximo tolerado) y CLR (Cell Loss Ratio, razón de celdas perdidas). Rt-VBR se caracteriza por el PCR, SCR (Sustained Cell Rate, tasa sostenible de celda), maxCTD y CLR. Nrt-VBR tiene como parámetros PCR, SCR y CLR. ABR está caracterizado por su MCR (Minimum Cell Rate, tasa mínima de celda) y para UBR no se tienen declarados descriptores de tráfico y no ofrece garantía de calidad [Hang TSE *et al.*, 2000].

La utilización de ellos para definir el tipo de fuentes es la siguiente: CBR es utilizado para tráfico constante e isócrono, voz y video. VBR para tráfico con un ancho de banda variable con un mínimo garantizado, como video comprimido, en tiempo real y no real. ABR, tráfico variable y a ráfagas, generalmente transmisión de datos. Por ultimo UBR, al igual que ABR es para tráfico variable y a ráfaga, pero en donde la transmisión de datos no exige calidad de servicio.

II.3.1.4 Funciones

Básicamente las funciones requeridas en la implementación de un sistema ATM inalámbrico son la mismas que su equivalente en alambrado, como los son el control de admisión de llamada, control de llamada y seguridad y privacidad. Algunas funciones adicionales deberán ser agregadas debidas al enlace inalámbrico y la movilidad de los usuarios. Algunos de los aspectos generales son descritos a continuación:

- ✓ Movilidad, es de suma importancia para el usuario el desplazarse de un lugar a otro, de ahí que se debe ofrecer cambios de células de una forma transparente al usuario. Ofrecer seguimiento al usuario. Existen muchas técnicas para implementar el manejo de movilidad dentro de una amplia área ya existentes, y que pueden ser adoptadas.
- ✓ Seguridad y privacidad, se debe mantener protección en la transmisión y en las aplicaciones entre usuarios finales.
- ✓ Manejo de tráfico y recurso, existe limitación en el ancho de banda disponible para el tráfico ATM/B-ISDN el cual deberá ser utilizado de una manera eficiente, ATM incluye procedimientos para el manejo de tráfico y congestión utilizados de manera cuidadosa por las redes ATM inalámbricas. Se debe de optimizar la explotación del recurso radio, considerándose la fase de acceso de red.
- ✓ CAC (Call Admission Control, control de admisión de llamada), se debe decidir cuando una llamada es aceptada o bloqueada. Algunas veces, debido a la arquitectura del sistema inalámbrico, la utilización de un solo camino virtual puede no ser suficiente.

II.3.2 ARQUITECTURA WATM

La tecnología ATM fue diseñada para ser utilizadas en WANs y posteriormente fue empleada en LANs. El objetivo es el poder escalar posteriormente hacia redes inalámbricas. El aspecto inalámbrico permite movilidad con lo cual se presentan nuevos retos en el diseño dentro de las redes dorsales ATM y la interfaz radio. En ATM inalámbrico existe una serie de especificaciones de radio tal como las celdas ATM con la interfaz aérea y la conservación de QoS de ATM sobre el poco confiable canal radio. Esto lleva al requerimiento de un nuevo subsistema de radio compuesto básicamente por la capa física de radio y la capa MAC. Una arquitectura típica es mostrada en la figura 2, físicamente esta arquitectura ATM inalámbrica está construida por switches (conmutadores) ATM que manejan aspectos de movilidad, puntos de radio acceso y terminales ATM inalámbricos con adaptadores de radio [Mikkonen J. y Nenonen L., 1998]. Se asume que la arquitectura

está basada en un control centralizado ya que debe existir una entidad dentro del sistema ATM inalámbrico que controle la capacidad de asignación con la finalidad de ofrecer garantía en la conexión. En esta arquitectura este control es realizado por el punto de radio acceso.

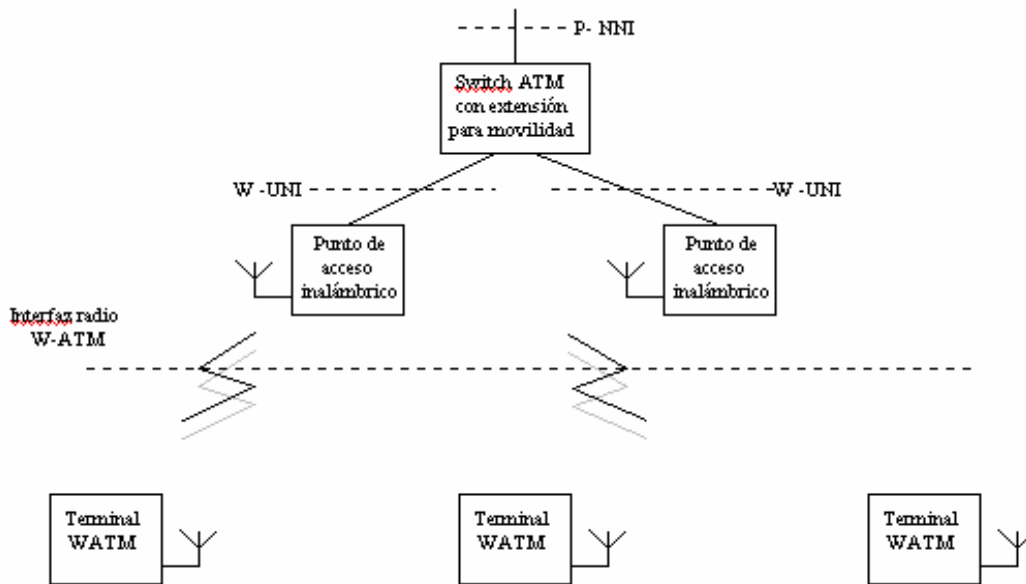


Figura 2. Arquitectura de ATM inalámbrico

II.4 CAPA FÍSICA DE RADIO

En general las propuestas para la capa física de la red WATM pueden ser divididas en dos tipos [Sánchez J. *et al.*, 1997]:

1. Técnicas de espectro esparcido (SS, Spread Spectrum), en donde todas las terminales móviles utilizan el total del espectro del canal simultáneamente. Estas técnicas pueden utilizar salto en frecuencia o secuencia directa; la técnica natural para SS es CDMA.

2. Multicanalización por división del tiempo (TDM, Time Division Multiplexing), en la cual las terminales transmiten en tiempos específicos, utilizando el total del espectro de radiofrecuencia (RF) disponible. La técnica de acceso para este caso es TDMA (Time Division Multiple Access).

Aun cuando las técnicas SS muestran mayor robustez a la interferencia y reutilización de frecuencia, y de ser muy apropiadas para redes digitales celulares, presentan una gran desventaja a tasas de bit muy altas.

II.5 CAPA MAC

Las restricciones impuestas en la capa MAC de ATM inalámbrico son extremadamente rigurosas. ATM es una tecnología de paquetes orientada a conexión que garantiza un cierto QoS al usuario y que descansa sobre la multiplexación estadística de celdas ATM. Por tal motivo, para el diseño de una verdadera capa MAC para ATM inalámbrico este debe de proveer servicios comparables a los ofrecidos por la red fija ocultando la poca confiabilidad del enlace inalámbrico mientras hace eficiente el uso del recurso radio.

Para el diseño del MAC es importante atender las características del tráfico que será soportado por el sistema inalámbrico y los requerimientos derivados desde la perspectiva de la aplicación. Basados en las necesidades de la aplicación es posible establecer las pérdidas de celda requerida y características de retardo a ser soportados por el subsistema de radio de ATM inalámbrico, esto es los requerimientos necesarios en la capa inferior ATM. La capa MAC debe adaptarse a la interfaz de radio aplicada. Cada interfaz de radio está caracterizada a través una serie de parámetros tales como el esparcimiento del retardo, ancho de banda coherente, coherencia en el tiempo, número de trayectorias dominantes, etc., teniendo mayor impacto la selección del control de error a ser utilizado en las capas física de radio y capa MAC.

Finalmente, cabe hacer mención que la capa MAC está fuertemente relacionada con la capa física que se adopte en el sistema inalámbrico.

II.6 ESPECTRO DE FRECUENCIA

Mientras se buscan candidatos para la MAC es importante mantener la vista puesta en la estandarización y el espectro. La operación de los modems de radio está estrictamente influenciada por la regulación de frecuencia y los tipos de pruebas asociados a este. De ahí que es importante seleccionar la banda de frecuencia adecuada. Esta banda de frecuencia para ATM inalámbrico debe de:

- ✓ Proveer un ancho de banda suficiente para permitir que sea explotada la ganancia de multiplexación estadística,
- ✓ Ser suficientemente amplia,
- ✓ Estar dentro de los límites tecnológicos y comerciales de un futuro cercano (~5 años) y,
- ✓ Permitir una operación libre de interferencia con la finalidad de ser capaz de garantizar el QoS.

La banda más interesante para la operación de los sistemas ATM inalámbricos es la de los 5 GHz con un espectro de 150 a 200 MHz en donde la utilización de canales de 23.5 MHz para operaciones sin licencia está disponible en los Estados Unidos, en Japón y Europa.

CAPÍTULO III CANAL RADIO

III.1 INTRODUCCIÓN

Cualquier sistema de comunicación tiene que enfrentarse con las dificultades causadas por el medio de transmisión. Para los sistemas inalámbricos, este medio es un canal multitrayectoria en donde, debido al fenómeno de propagación, la señal transmitida se ve afectada por interferencia, desvanecimiento y ruido. Mas aún, el canal es variante en tiempo, frecuencia y espacio. Por consiguiente, es indispensable una apropiada caracterización del canal durante el proceso de diseño del sistema de comunicación. Conociendo las características del canal y sus variaciones se puede diseñar el sistema que mejor se adapte a él logrando con ello un sistema más efectivo y confiable.

Sin duda alguna, las características del canal radio utilizado en el enlace entre un transmisor y un receptor son complejas y fuertemente dependientes de la naturaleza del ambiente físico en el cual operan los equipos. En forma adicional, la presencia del ruido en el desempeño del receptor final de la conexión, influye grandemente sobre su capacidad de recobrar la información originalmente transmitida.

Los enlaces radio móvil son establecidos entre una estación base fija y un número de terminales móviles o remotas. La calidad de la comunicación entre una estación base y una terminal móvil o portátil depende, entre otros factores, de los tipos y grados de impedimentos de la propagación de la señal en el canal radio.

III.2 PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS DE RADIO

Las ondas de radio forman parte del espectro electromagnético, abarcando de 30 KHz (10 Km. de longitud de onda) a 300 GHz (0.1 cm. de longitud de onda), y son propagadas en línea recta por una antena de transmisión. Con la finalidad de recibir la señal, un receptor requiere estar en línea de vista con el transmisor o la onda de radio debe ser reflejada a través de un objeto conductor. De manera general, una onda de radio es propagada por los siguiente medios:

- ✓ Tierra: El principal medio de propagación en las comunicaciones celulares.
- ✓ Tropósfera / ionósfera: Las señales son reflejadas por las capas de la atmósfera, especialmente las señales de longitud de onda grande (de frecuencias bajas).

III.2.1 PROPAGACIÓN MULTITRAYECTORIA

En un canal de radio, la transmisión entre el transmisor y el receptor es llevada a cabo no solo vía trayectoria directa (línea de vista) sino también vía múltiples trayectorias, las cuales son causadas por reflexión, difracción y dispersión; éstas se describen a continuación:

- ✓ La reflexión ocurre cuando una onda electromagnética se encuentra con una superficie suave y amplia (comparada con la longitud de onda de la señal). La onda es entonces reflejada por la superficie.
- ✓ La difracción ocurre cuando la onda de radio encuentra un obstáculo denso también de dimensiones grandes comparadas con su longitud de onda. Como resultado, se forman ondas secundarias detrás del elemento obstructor haciendo posible la transmisión aun cuando no exista línea de vista (LOS, Line Of Sight) entre el transmisor y el receptor.

- ✓ La dispersión ocurre cuando una onda propagada encuentra un obstáculo, cuyas dimensión es comparable con su longitud de onda. En cuyo caso, la energía es esparcida en todas direcciones.

Una señal transmitida, la cual experimenta la influencia de la reflexión, refracción o dispersión, llega al receptor a través de diferentes caminos. A este fenómeno se le llama propagación multitrayectoria y se muestra en la figura 3.

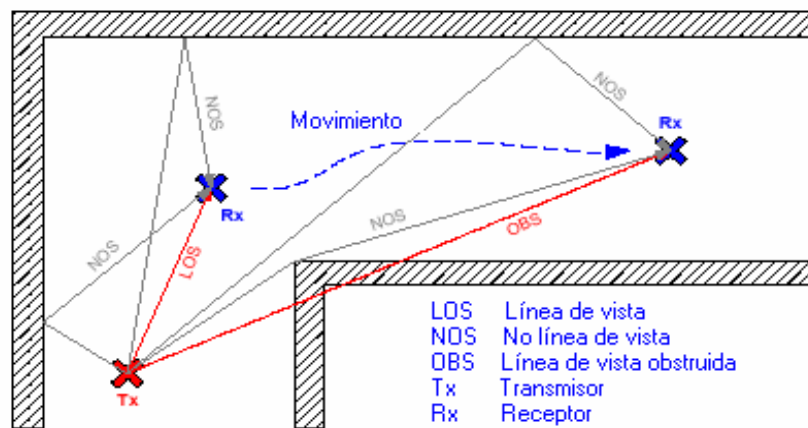


Figura 3. Propagación multitrayectoria.

III.2.2 EFECTOS DE LA PROPAGACIÓN MULTITRAYECTORIA

La propagación de las señales a través del canal radio se ve afectada por diversos factores, los cuales provocan fluctuaciones en los niveles de amplitud y fase. Estos factores actualmente están bien identificados y son incluidos como parte esencial del modelado del canal radio para hacerlo más realista. Los dos factores principales son los siguientes:

- ✓ Sombreo (Shadowing), e
- ✓ Interferencia multitrayectoria.

El sombreado ocurre cuando la propagación en línea de vista entre la estación base y la terminal se ve obstruida por árboles, edificios, puentes etc. El sombreado es visto entonces como la pérdida de potencia de la señal. El sombreado (figura 4) es algunas veces llamado desvanecimiento lento, ya que, desde el punto de vista de movilidad, pasar a través de una zona de sombreado toma un tiempo considerable. El sombreado es usualmente modelado con una distribución log-normal de la potencia media de la señal.

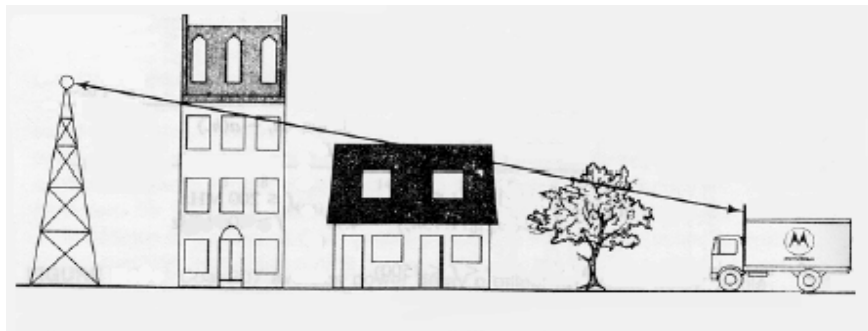


Figura 4. Efecto de sombreado

La interferencia multitrayectoria (figura 5), ocurre cuando las ondas de radio se reflejan en las colinas, edificios, vehículos, y otros obstáculos, los cuales establecen diferentes trayectorias desde la antena transmisora a la antena receptora. La propagación multitrayectoria provoca que copias reflejadas de la señal de radiofrecuencia transmitida arriben a la terminal receptora con diferentes amplitudes, corridas en fase y con diferentes tiempos de retardo combinándose de manera destructiva.

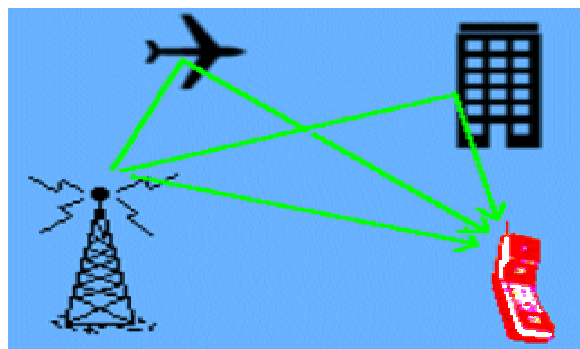


Figura 5. Interferencia multitrayectoria

III.3 COBERTURA DE PROPAGACIÓN

El área de cobertura de cada transmisor está definido como el área en la cual se puede establecer una comunicación satisfactoria entre el móvil y la estación base, y la cual es conocida como célula [Webb W. y Hanzo L., 1994]. Los sistemas móviles de primera y segunda generación usan células de radio de hasta unos 35 Km., lo que implica que la existencia de línea de vista entre transmisor y receptor es poco probable. Para células cercanas son asignadas diferentes frecuencias, pero a medida que la distancia entre ellas aumenta, la interferencia entre ellas disminuye, lo que conduce al reuso de frecuencias, lo que incrementa la capacidad del sistema.

En áreas donde la densidad de tráfico generado es alta, o donde solo se permite el manejo de bajas potencias, el tamaño de la célula es necesariamente reducido. Si la antena de la estación base está montada a nivel del techo de los edificios que la rodean, el radio celular resultante es nombrado microcélula, y típicamente tiene un radio entre 200 a 400 metros.

En comunicaciones móviles la información digital es transmitida a una cierta tasa de bit. El fenómeno de propagación depende fuertemente de la razón de duración del símbolo y el esparcimiento del retardo del canal radio. El esparcimiento del retardo se define como la longitud de la respuesta del canal al impulso. Podemos observar que si se transmite datos a una tasa muy baja los símbolos individuales pueden ser captado sin problemas por el receptor. Esto debido a que las numerosas trayectorias reflejadas llegan al receptor antes que el siguiente símbolo sea transmitido. Pero, si se incrementa la tasa de transmisión de datos se va llegar a un punto en el cual esto ya no suceda y cada símbolo se esparcirá dentro de los símbolos adyacentes, fenómeno conocido como interferencia intersimbólica (ISI). Sin el uso de ecualizadores de canal para remover el ISI, la tasa de error de bit (BER) se volverá inaceptablemente alta.

Las mediciones muestran que redes celulares que utilizan radios muy grandes, donde el esparcimiento del retardo excede los 10 μ s requieren ecualizadores cuando la tasa de bit es relativamente baja, por ejemplo, a 64 Kbps, mientras que en comunicaciones dentro de edificios donde el esparcimiento del retardo es significativamente menor al microsegundo se presenta desvanecimiento cuando la tasa de bit excede el megabit por segundo. Células muy pequeñas, algunas veces son referidas como picocélulas que pueden soportar muchas megabits por segundo sin ecualización debido a que el esparcimiento del retardo es del orden de nanosegundos.

III.4 MODULACIÓN DIGITAL

Para que en un sistema inalámbrico la información digital sea propagada es necesario modularla. La modulación digital ofrece ventajas sobre la modulación analógica [Rappaport T., 1996]. Algunas de estas ventajas son: mayor inmunidad al ruido y robustez a las limitantes del canal, facilidad de multiplexación para tipos de información (voz , datos y video) y mayor seguridad. Existen tres formas de alterar la señal, por su amplitud, frecuencia o fase.

III.4.1 ASK

En la técnica ASK (Amplitude Shift Keying) la señal portadora es multiplicada por la señal digital $f(t)$ (figura 6). Matemáticamente, la señal portadora modulada $s(t)$ es:

$$s(t) = f(t) \sin(2\pi f_c t + \varphi) \quad (1)$$

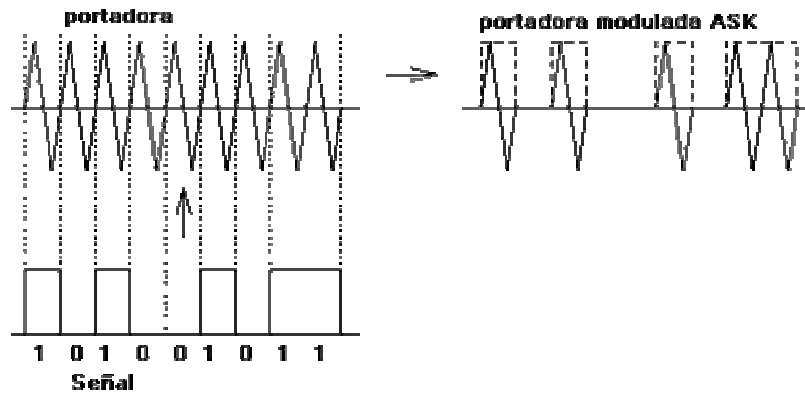


Figura 6. Modulación ASK

III.4.2 FSK

FSK (Frequency Shift Keying) describe la modulación de una portadora (o dos portadoras) utilizando una frecuencia diferente para el 1 y para el 0 (figura 7). La señal modulada resultante puede ser vista como la suma de dos señales de amplitud modulada de diferente frecuencia. Matemáticamente está dado por:

$$s(t) = \cos \left[\left(2\pi f_c + \frac{m_i(t) \cdot \Delta w}{2} \right) t \right] \quad (2)$$

Donde $m_i(t)$ es igual a 1 para "1" y -1 para "0".

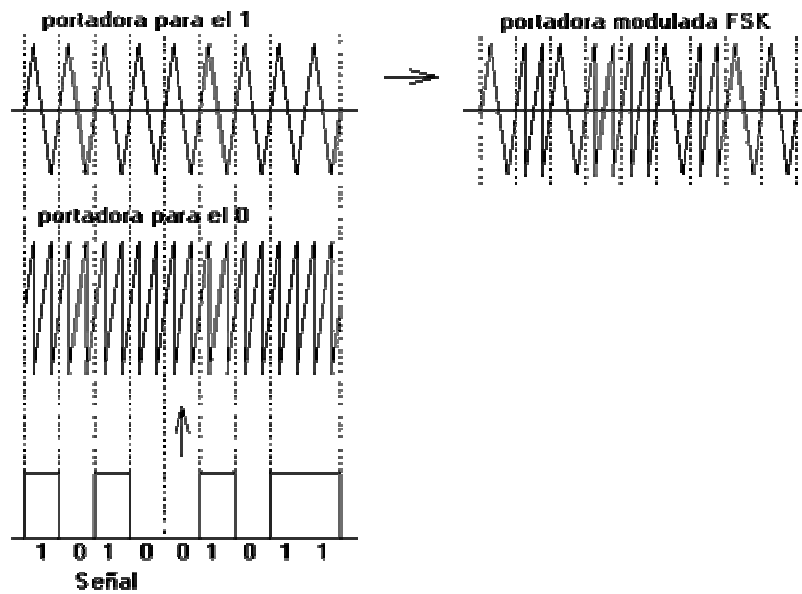


Figura 7. Modulación FSK

III.4.3 PSK

PSK (Phase Shift Keying) describe la técnica de modulación en la cual se altera la fase de la portadora. Matemáticamente se realiza así:

$$s(t) = f(t) \sin(2\pi f_c t + \varphi(t)) \quad (3)$$

BPSK (Binary PSK) tiene solo dos fases, 0 y π . Es por consiguiente un tipo de modulación ASK con $f(t)$ tomando valores de 1 ó -1 (figura 8). QPSK (Quadrature PSK) tiene cuatro fases, 0 , $\pi/2$, π y $3\pi/2$. Para una tasa de bit dada, QPSK requiere la mitad del ancho de banda que PSK, razón por la cual es ampliamente utilizado.

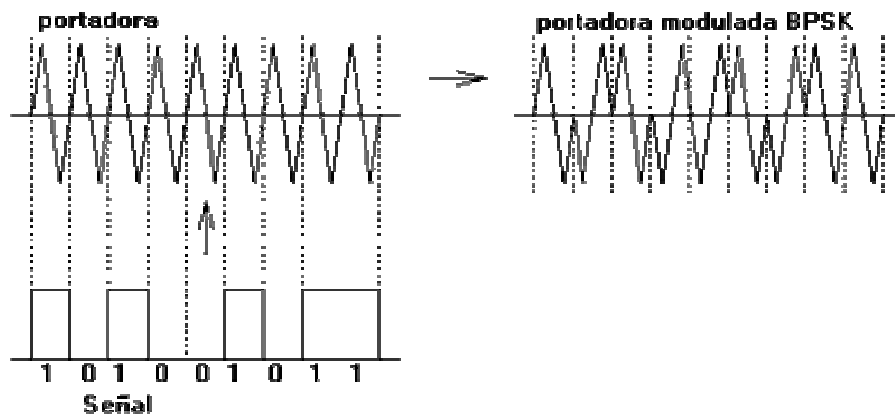


Figura 8. Modulación BPSK

III.4.4 MSK

MSK (Minimum Shift Keying) es un tipo especial de FSK continuo (CPFSK) en donde la desviación de la frecuencia pico es igual a un cuarto de la tasa de bit. Una técnica derivada de MSK es GMSK (Gaussian MSK), el cual es un esquema de modulación binario simple. GMSK es implementado agregando una premodulación al modulador MSK a través de un filtro pasabajo.

III.5 TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE

Un problema mas a resolver en todo sistema inalámbrico relacionado con el canal radio es sin duda alguna la distribución de su espectro en cantidades finitas, sin degradar en forma drástica el desempeño del sistema. La manera de llevar a cabo tal distribución, entre los múltiples usuarios competidores por el acceso al sistema de comunicación, es a través de tres técnicas, generalmente basados en frecuencia, tiempo o asignación de código. Esta técnicas son: Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA, Frequency Division Multiple Access), acceso múltiple por división de tiempo (TDMA, Time Division Multiple Access) y acceso múltiple por división de código (CDMA, Code Division Multiple Access).

III.5.1 FDMA

En FDMA el canal radio es dividido en intervalos de frecuencia creando canales individuales (figura 9). Cada usuario es ubicado en una sola frecuencia o canal. La asignación a estos canales puede llevarse a cabo de manera fija o por demanda. Otros usuarios pueden acceder a estos canales solo cuando el usuario actual deje de utilizarlo, esto es, no se puede compartir la misma frecuencia mientras un usuario esté haciendo uso de ella. Esta técnica es empleada por el tradicional sistema celular analógico.

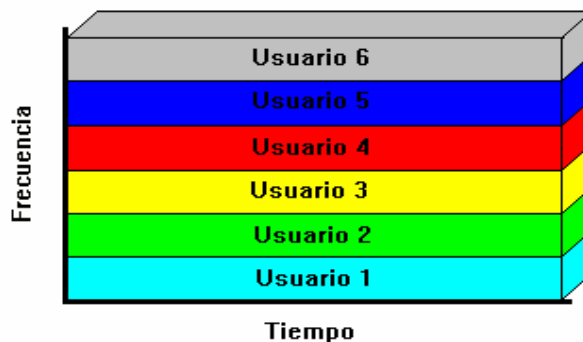


Figura 9. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)

En esta técnica a un usuario le es asignado un par de frecuencias a través de las cuales puede llevar a cabo su comunicación. Una frecuencia es usada en el enlace descendente (de la estación base al móvil) y la otra frecuencia es empleada para el enlace ascendente (del móvil hacia la estación base). Esto es conocido como duplex por división de frecuencia (FDD).

Los principales problemas con FDMA son: la limitación de reuso de frecuencia y limitación del número de usuarios por kilómetro cuadrado.

III.5.2 TDMA

En TDMA el espectro del radio es dividido en ranuras de tiempo (figura 10), cada ranura es utilizada para enviar o recibir a la vez. La transmisión en TDMA ocurre a ráfagas y a cada usuario se le asigna todo el ancho de banda (TDMA banda amplia) o parte de él (TDMA banda estrecha) durante el periodo de la ráfaga. Así pues, la transmisión de un usuario no es continua lo que implica que se deba de utilizar modulación digital para los datos. Dividir el canal de radio en ranuras de tiempo de forma conveniente da como resultado una mayor capacidad del sistema. Al igual que en FDMA, un usuario no podrá hacer uso de la ranura mientras esté siendo utilizada por otro.

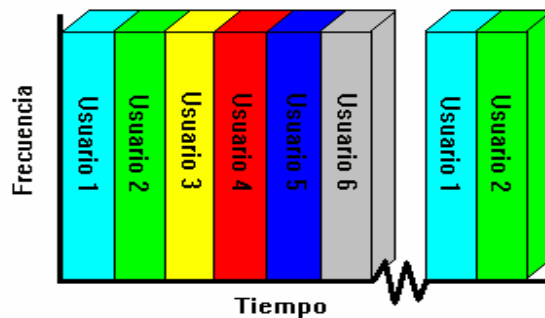


Figura 10. Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)

III.5.3 CDMA

CDMA permite que todos los usuarios tengan acceso al canal radio en el mismo instante de tiempo (figura 11). En CDMA cada usuario utiliza un código dedicado, el cual le ayuda a obtener la señal de información que le corresponde aún cuando exista interferencia por las señales de los otros usuarios. Este código pseudo-aleatorio utilizado por cada usuario es ortogonal a los demás códigos y es utilizado tanto por el usuario como por la estación base para distinguir entre las diversas conversaciones.

La técnica empleada por CDMA es la técnica de espectro esparcido, en donde cada señal es transmitida en un intervalo de frecuencia mucho mayor que la requerida, esto con la finalidad de tener una buena relación de señal a ruido (S/N).

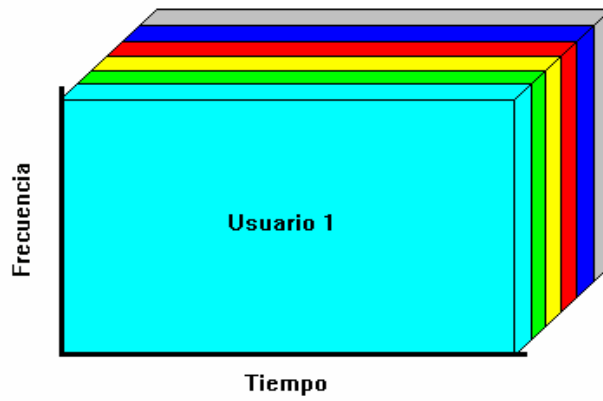


Figura 11. Acceso múltiple por división de código

CAPÍTULO IV PROTOCOLOS MAC

IV.1 INTRODUCCIÓN

A la par de WATM aparece una nueva situación, el medio de transmisión es un ambiente compartido, el cual requiere coordinación en la calendarización de las transmisiones de las terminales ATM inalámbricas activas [Mikkonen J. y Nenonen L., 1998]. La complejidad de compartir el medio impone el diseño de un protocolo MAC que permita un mejor control del flujo de tráfico en la red inalámbrica.

Debido a que se tiene un mayor interés sobre las futuras redes ATM de banda amplia, las cuales pueden ofrecer servicios hasta de 150 Mbps (siempre que la tecnología lo permita), las propuestas que utilizan las técnicas TDMA son un tanto más atractivas. La mayoría de propuestas TDMA utilizan la técnica de acceso aleatorio Slotted ALOHA (ALOHA ranurado) para el proceso de llamada y reservación de ranuras para transmisión de las terminales.

IV.2 PROTOCOLOS MAC QUE EMPLEAN LA TÉCNICA TDMA

Dentro de las propuestas de TDMA, se hace una fuerte distinción, de acuerdo al número de frecuencias portadoras utilizadas entre la estación base y las terminales: FDD (Frequency Division Duplex, duplex por división de la frecuencia) la cual utiliza dos frecuencias, y TDD (Time Division Duplex, duplex por división del tiempo) la cual utiliza una sola frecuencia.

La idea principal de FDD es el tener dos canales por área de cobertura de la estación base. Uno para el enlace ascendente y el otro para el enlace descendente. Los protocolos MAC basados en FDD son los siguientes [Sánchez J. *et al.*, 1997]:

1. DQRUMA (Distributed-Queuing Request Update Multiple Access, acceso múltiple por actualización de petición en cola distribuida), el cual considera un sistema ranurado en tiempo sin referencia de trama, donde los canales de petición de acceso y los de transmisión de paquetes son formados ranura por ranura.
2. PRMA/DA (Packet Reservation Multiple Access with Dynamic Allocation, acceso múltiple por reservación de paquete con asignación dinámica), considera una longitud fija para la trama del enlace ascendente, la cual es dividida en un número fijo de ranuras, del mismo tamaño y divididas en cuatro grupos.
3. DSA++ (Dynamic Slot Assignment, asignación dinámica de ranura), utiliza para ambos enlaces una estructura de trama de longitud variable llamada ráfaga de señalización (signaling burst).
4. DTDMA/PR (Dynamic TDMA with Piggybacked Reservation, TDMA dinámico con reservación de acarreo), considera una trama de longitud fija, con miniranuras de reservación (en el canal de enlace ascendente) y ranuras de tamaño de una celda ATM para la transmisión de la información del usuario.

Los protocolos TDD utilizan una sola frecuencia portadora, ahorrando con esto hardware en las terminales móviles ya que tanto el transmisor como el receptor operan a la misma frecuencia, pero generalmente agregan un retardo extra debido al cambio entre el modo transmisor y receptor. Entre los protocolos de este tipo se tiene:

1. MASCARA (Mobile Access Scheme based on Contention And Reservation for ATM, esquema de acceso móvil para ATM basado en contención y reservación), está basado en una trama de tiempo de longitud variable, la cual consiste en dos subtramas, una para enlace ascendente y la otra para descendente, el enlace descendente está dividido en un período de cabecera de trama y un período para

información descendente. El enlace ascendente está dividido en un período para información ascendente y un período de contención.

2. PRMA/ATDD (Packet Reservation Multiple Access with Adaptive Time Division Duplex, acceso múltiple por reservación de paquete con TDD adaptable), está basado en la técnica OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) combinada con el esquema TDD.
3. DTDMA/TDD (Dynamic TDMA with TDD, TDMA dinámico con TDD), basado en una estructura TDMA/TDD con trama de longitud fija. La subtrama descendente es manejada bajo el formato TDM, transmitida en una sola ráfaga. La subtrama ascendente es manejada en forma dinámica y está dividida en cuatro grupos de ranuras: ranuras de petición (minirranuras), ranuras de asignación dinámica, ranuras de asignación fija y compartida, y ranuras de asignación fija.

La tarea primordial de un protocolo MAC es el control de la asignación de los recursos del canal radio de una forma simple y eficiente. Para llevar a cabo tal objetivo, es empleada una arquitectura de acceso centralizado, para la cual la técnica más importante a ser considerada es la TDMA con asignación dinámica de ranuras. Este mecanismo permite un acomodo flexible del ancho de banda asignando mas o menos ranuras de tiempo dependiendo de las condiciones actuales de tráfico. Ya que TDD no requiere separar en bandas el enlace ascendente y el descendente y opera con una sola portadora presenta una alta ganancia de multicanalización lo que conlleva a una alta utilización de canal especialmente en el caso de trafico asimétrico ascendente y descendente. En otras palabras, el protocolo MAC TDMA/TDD es capaz de asignar de forma eficiente y dinámica el ancho de banda disponible a las conexiones basándose en las necesidades y carga de tráfico actuales a través de ciclos de reservación y/o asignación [Huang H. *et al.*, 2000].

IV.3 PROTOCOLO MAC PROPUESTO

El protocolo propuesto y contemplado en el desarrollo de la Tesis Doctoral de Jaime Sánchez García se puede describir como una técnica que emplea una tasa de transmisión de 23 Mbps, multicanalizado en tiempo (TDMA) utilizando una sola frecuencia portadora (TDD) a 6 GHz, y que cuenta con ranuras asignadas por demanda y ranuras de acceso aleatorio (ALOHA Ranurado). Se maneja un algoritmo de retransmisión basado en prioridad de potencia (APP), donde se incluye el efecto captura. El área de cobertura es una picocelda, existe línea de vista entre el transmisor y receptor, y se considera un desvanecimiento tipo Rician [De la Fuente Tovar, 1999][Flores Troncoso, 2000][Ayala Hernández, 2000].

IV.3.1 TRAMA TDD

El esquema TDD de la propuesta contempla una trama de 64 ranuras con límite móvil, donde cada ranura tiene una longitud de 65 bytes, maneja paquetes ATM estándar a los que les agrega un encabezado necesario por la capa física de radio.

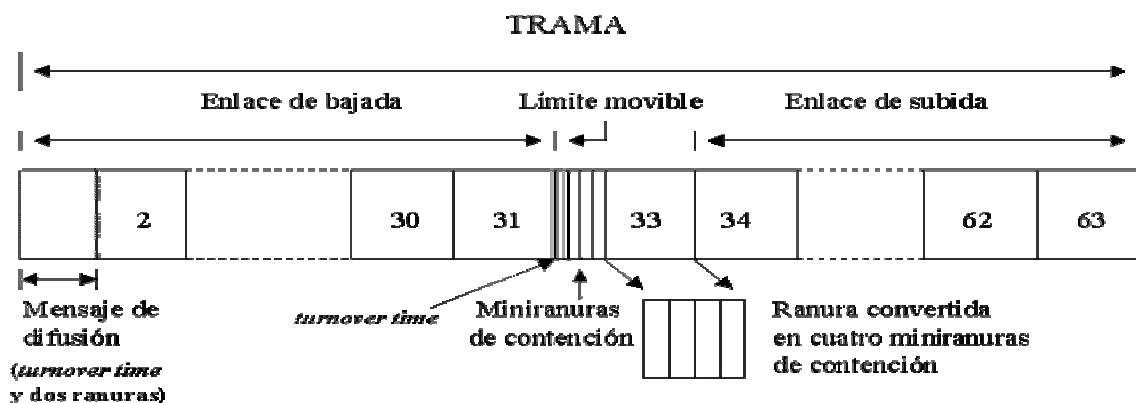


Figura 12. Estructura de la trama TDD

En la figura 12 se muestra la trama empleada. La trama TDD está dividida en dos subtramas. La subtrama de enlace descendente contiene N_{dl} ranuras y la subtrama de enlace ascendente contiene $N_{up} = 64 - N_{dl}$ ranuras. Las dos primeras ranuras de la

subtrama descendente son utilizadas para la difusión del mensaje de señalización. La primera ranura de la subtrama de enlace ascendente es utilizada para proporcionar una minirranura de cambio de subtrama (turnover) y tres minirranuras para contención.

La estación base puede convertir una ranura para transmisión de paquetes en cuatro minirranuras de contención, en el momento que detecte colisiones, por cantidad de tráfico, por detección de retransmisiones y/o por tener algunas ranuras libres [Ayala Hernández, 2000]. En tales casos, el número de ranuras para transmisión en el enlace ascendente será $Nup = 64 - Ndl - 1$ para el caso que este operando con tres minirranuras y de $Nup = 64 - Ndl - 2$ ranuras para siete minirranuras de contención.

IV.3.2 PAQUETES UTILIZADOS

Para la operación de este protocolo se involucran una serie de paquetes, entre los cuales están: el paquete de petición, el paquete de transmisión ascendente, el paquete de transmisión descendente y el mensaje de señalización. A continuación se muestran sus formatos y propósito de cada uno [De la Fuente Tovar, 1999].

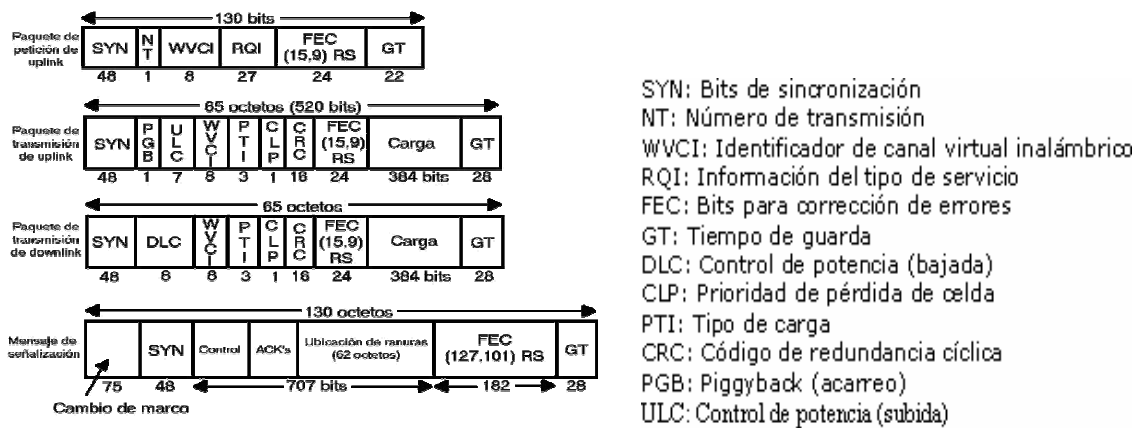


Figura 13. Paquete de petición, de transmisión ascendente, de transmisión descendente y mensaje de señalización.

El paquete de petición será utilizado por las terminales remotas que apenas han iniciado su conexión, por las terminales que provienen de otra estación base o por usuarios que transmiten con tipos de servicio VBR, ABR y UBR, después de una ráfaga.

El paquete de transmisión ascendente incluye un campo para el WVCI (Wireless Virtual Channel Identifier, identificador de canal virtual inalámbrico) y un campo para el código corrector de errores, que tendrá incluido los 16 bits del CRC para la carga útil.

El paquete de transmisión descendente contiene 24 bits para corrección de errores en el encabezado y el CRC de la carga útil.

El código de corrección de errores propuesto para los paquetes de petición y de transmisión ascendente y descendente es un FEC (15,9)RS con una capacidad de corrección de errores $([n-k]/2) t = 3$ símbolos de 4 bits. El código Reed Solomon (RS) además detectará los errores en el campo CRC de la carga útil.

El mensaje de señalización es utilizado para mantener comunicación entre la estación base y las terminales remotas, a través de éste se mantiene control en el acceso y uso del recurso llamado ancho de banda. Este mensaje es del tamaño de dos ranuras. Es generado y actualizado por la base según las condiciones que se presenten en el sistema y difundido por la misma a las terminales remotas. Consta de una serie de campos por medio de los cuales comunica a cada terminal remota los aspectos importantes del sistema y los cuales serán descritos a detalle en el siguiente capítulo.

El código de corrección de errores para el mensaje de señalización es un FEC (127,101)RS con $q=128$, con una capacidad de corrección de errores $t = 13$ símbolos de 7 bits, con la finalidad de compensar las pérdidas en el canal.

IV.3.3 ASIGNACIÓN DE LAS RANURAS

Para la asignación de ranuras en cada trama se cuenta con un algoritmo¹ dedicado a la calendarización de las transmisiones sobre el canal radio basado en prioridad. Con la finalidad de poder ofrecer calidad de servicio, el mecanismo de calendarización para la decisión de asignación considera las prioridades mostradas en la tabla siguiente:

Tabla II. Prioridad en los servicios

Prioridad	Clase de servicio
1	CBR
2	rt-VBR
3	nrt VBR
4	ABR
5	UBR

La asignación de las ranuras será en orden descendente, empezando por la ultima ranura (63). Dependiendo del tráfico al cual se le va a dar servicio, será la ubicación que tendrá dentro de la trama tal como se muestra en la figura 14.

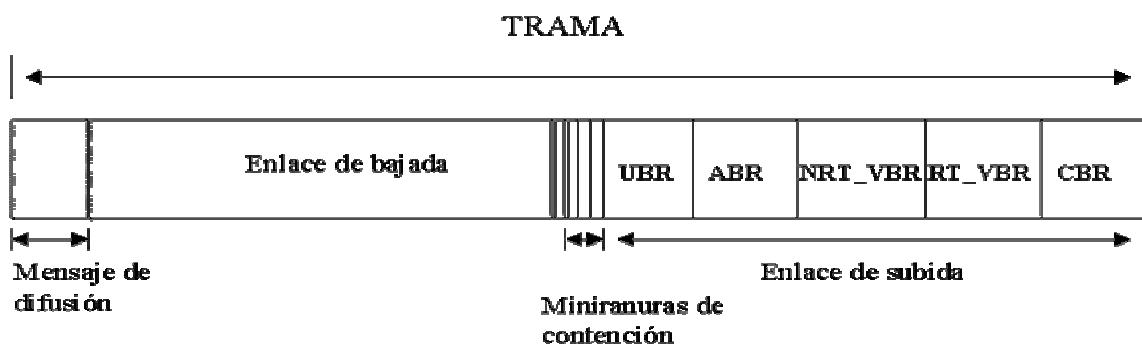


Figura 14. Asignación de las ranuras en la trama TDMA/TDD.

¹ Este algoritmo, conocido como calendarizador, fue desarrollado por el estudiante Juan Gerardo de la Fuente Tovar y su descripción, funcionamiento y análisis están presentados en la tesis de maestría "Protocolo de acceso al medio (MAC) para una red ATM inalámbrica," 1999.

Si el tráfico es pequeño se cumplirá con el PCR (Peak Cell Rate, tasa pico de celdas) con la finalidad de transmitir lo mas rápido posible el paquete de la terminal remota. En el caso que todas las ranuras se encuentren ocupadas y se solicite una transmisión por parte de una terminal remota, el calendarizador actuará de la siguiente forma para la asignación de ancho de banda:

- ✓ CBR. Ya que se requiere un número constante de ranuras por trama y permite un gran retardo antes de iniciar la llamada, no se le asignará ranuras hasta que se liberen las necesarias y serán puestas en cola de espera. Una vez atendidas tienen la mayor prioridad para evitar retardo.
- ✓ rt-VBR (real time VBR, VBR en tiempo real). De igual manera que CBR no será reconocida una petición cuando no existan suficientes ranuras. Una vez establecida la conexión, si se requiere sacar ranuras, serán de las ranuras de menor prioridad como lo son nrt-VBR, ABR y UBR.
- ✓ nrt-VBR (non real time VBR, VBR en no tiempo real). Tiene un mayor retardo en los paquetes de información con respecto a rt-VBR. Si no existen ranuras de menor prioridad que sacar, el calendarizador guardara el paquete en la cola.
- ✓ ABR. Para que se le asignen ranuras deberán existir ranuras UBR o ranuras libres dentro de la trama. Cuando no hay ranuras libres el calendarizador toma las ranuras UBR necesarias para ser ocupadas por ranuras ABR; en caso de ser mayor las necesitadas que las UBR existentes, el calendarizador asignará éstas a ABR, ya que ABR permite gran retardo en la transmisión.
- ✓ UBR. Solo se podrá asignar ranuras libres a este servicio.

IV.3.4 RETRANSMISIÓN BASADO EN PRIORIDAD DE POTENCIA

Debido a que en este protocolo MAC se cuenta con miniranuras de contención para la obtención del recurso, cuando una terminal remota tiene paquetes que transmitir envía primero un paquete de petición y por el hecho de que probablemente no sea la única que, en ese momento, requiera transmitir, puede presentarse colisión entre paquetes lo que conlleva

a la necesidad de una retransmisión. Razón importante por la cual se debe contar con un algoritmo para el proceso de acceso aleatorio por contienda en donde se varíe la potencia de las terminales. El hecho de que los paquetes lleguen con diferentes niveles de potencia al receptor hace posible el efecto captura. Por la naturaleza de la técnica que se emplea para las mini ranuras (S-ALOHA), es posible que el paquete con mayor potencia sea capturado por el receptor, a pesar de que otros usuarios estén transmitiendo en la misma ranura.

En el APP propuesto² se contempla un esquema en el cual al primer intento por obtener el recurso todas las terminales transmiten con un nivel determinado de potencia en una de las minirranuras existentes (tres o siete) disponibles. Este nivel de potencia deberá ser suficiente para ser recibido con una adecuada razón señal a ruido (SNR) por la estación base. Una vez que una terminal remota transmite espera por una respuesta de la estación base, al no recibir respuesta alguna da por asumido que el paquete colisionó y se prepara para realizar una retransmisión, dependiendo del tipo de servicio (CBR, rt-VBR, nrt-VBR, ABR, UBR) será la nueva potencia con la cual retransmita, en la tabla III se muestran los niveles de potencia a seleccionar por los servicios sensibles al tiempo (CBR, rt-VBR) y los no sensibles al tiempo (nrt-VBR, ABR y UBR). Por omisión la potencia de las terminales será de 10 mW.

Tabla III. Niveles de potencia asignados a los grupos de servicio

Unidades	Niveles de los servicios no sensibles al tiempo				Niveles de los servicio sensibles al tiempo				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
mW	0.625	1.25	2.5	5	10	20	40	80	160
dB	0	3	6	9	12	15	18	21	24

Se considera una mayor potencia para aquellas terminales con servicios de mas alta prioridad y menor potencia para aquellas de prioridad mas baja. El hecho de incrementar o decrementar la potencia en los paquetes de petición contribuye al efecto captura, con lo cual se eleva la eficiencia de S-ALOHA y se aumenta la probabilidad de captura para aquellas terminales que hayan incrementado su potencia.

Uno de los objetivos básicos del APP es el garantizar el QoS principalmente en lo concerniente a pérdidas y retardo para aquellos servicios sensibles al tiempo, sin perder de vista aquellos servicios de menor prioridad. Una descripción mas detallada de este algoritmo es presentada en [Flores Troncoso, 2000].

IV.3.5 AUMENTO O DISMINUCIÓN DE MINIRANURAS

Un punto clave es solucionar los problemas relacionados con el modo de acceso aleatorio de los usuarios. De esto depende el desempeño del sistema, viéndose reflejado en la calidad de servicio. Por tal motivo se presenta la necesidad de optar por aumentar o disminuir el período de contienda.

La estación base se encarga del control del sistema y de manera centralizada determina el procedimiento a seguir según las condiciones actuales del mismo sistema. Para determinar si se requiere incrementar el periodo de contienda (aumentar de tres a siete miniranuras), o bien disminuir este periodo (pasar de siete a tres miniranuras), la estación base tomará la información generada por la dinámica de las terminales remotas.

El algoritmo de asignación dinámica de canales de acceso (ADICACTM³) manejado está basado primordialmente en la información recabada, como lo es, cantidad de paquetes arribados, cantidad de retransmisiones, cantidad de tramas con colisión y aprovechamiento del sistema.

IV.3.6 DESPLAZAMIENTO DEL UMBRAL

² Desarrollado y presentado por Jorge Flores Troncoso en su tesis de maestría “Algoritmo de retransmisión basado en prioridad de potencia para una red ATM inalámbrica,” 2000

³ Desarrollado y analizado por Felipe de Jesús Ayala Hernández en su tesis de maestría, “Asignación dinámica de canales de acceso aleatorios (ALOHA ranurado) para una red ATM inalámbrica,” 2000

Finalmente, en este protocolo se maneja movilidad del límite entre las subtramas descendente y ascendente, esto, debido principalmente a la naturaleza de asimetría en la mayoría de las comunicaciones.

Con el desplazamiento del umbral se ofrece dinamismo al esquema TDMA/TDD, esto, ante la necesidad de acomodar no solo tráfico de voz (simétrica), sino también diversos tipos de tráfico de datos, los cuales generalmente presentan una asimetría elevada entre los enlaces ascendente y descendente, con lo cual sería ineficiente el utilizar un esquema TDMA/TDD fijo. Este desplazamiento se realizará de la misma manera que el aumento de miniranuras, a través de las condiciones del tráfico manejado, con este movimiento de umbral, se tiene la posibilidad de tener una subtrama descendente de mayor tamaño, que para la mayoría de las conexiones se requiere. En la siguiente tabla se muestra las características principales del esquema TDMA/TDD empleado en el protocolo MAC propuesto.

Tabla IV. Características principales del esquema TDMA/TDD

Especificación	Valor	Unidades
Duración de la trama	1.4469	Ms
Tasa de transmisión	23	Mbps
Bytes por trama	4160	Bytes
Tamaño de una ranura	520	bits
Miniranuras de contención	3 ó 7	miniranuras
Bytes asignados al periodo de contienda	48.75 ó 113.75	Bytes
Tamaño de una miniranura de contención	130	bits
Bytes asignados al enlace descendente	Variable	Bytes
Número de ranuras en el enlace descendente	$30 + x$	ranuras
Bytes asignados al enlace ascendente	Variable	Bytes
Número de ranuras en el enlace ascendente	$32 - x$	ranuras
Tasa de transmisión por cada ranura	359.375	Kbps
Bytes asignados al cambio de subtrama	16.25	Bytes
Tamaño del paquete de petición	130	bits
Tamaño paquete de transmisión	520	bits
Tamaño del mensaje de difusión	130	Bytes
Tiempo de guarda	28	bits

CAPÍTULO V ALGORITMO PARA LA DIFUSIÓN DE SEÑALIZACIÓN DE TRAMA PROPUESTO

V.1 SEÑALIZACIÓN

Tal como se mencionó en la introducción de este trabajo de tesis, la mayoría de los protocolos MAC propuestos para WATM hasta la fecha son representativos de alguna clase de esquema ranurado o controlado desde la central. El protocolo propuesto por el Dr. Jaime Sánchez y el cual se está utilizando forma parte de este grupo de esquemas controlados por una central, en este caso la función de central la desempeña la estación base.

Será entonces la estación base, la que se encargue de mantener el orden y control dentro del sistema. Este sistema lo conforman la estación base y las terminales remotas que se encuentren dentro de su área de cobertura. La estación base será la encargada de recibir las solicitudes de ancho de banda por parte de las terminales remotas y será también la encargada de decidir si otorgarles o no recurso dependiendo de la disponibilidad del canal y si les puede cumplir con el contrato de conexión establecido.

Para llevar a cabo el orden y control se requiere que en este protocolo MAC la estación base realice un proceso de señalización. Este proceso de señalización será realizado a través de la difusión de un mensaje dirigido a las terminales remotas. Por medio de este mensaje las terminales contendientes serán capaz de saber si su petición por el recurso, para llevar a cabo una transmisión, fue aceptada y bajo que condiciones tendrá que realizar dicha transmisión. Este mensaje informa también sobre las condiciones del sistema a aquellas terminales que no tengan información que transmitir, para cuando tengan la necesidad de contender por el recurso, estén enteradas del momento exacto para hacerlo. El mensaje será difundido a las terminales remotas al inicio de cada trama y será captado por todas las terminales que pertenezcan al área de cobertura de la estación base.

V.2 MENSAJE DE SEÑALIZACIÓN

El mensaje de señalización (figura 15) difundido por la estación base a las terminales remotas está compuesto por 707 bits netos de mensaje mas 333 bits requeridos para su transportación en la capa de radio, lo cual lleva a un total de 1040 bits, equivalentes a 130 bytes u octetos [Ayala Hernández, 2000], lo cual representa dos ranuras de la trama TDD.

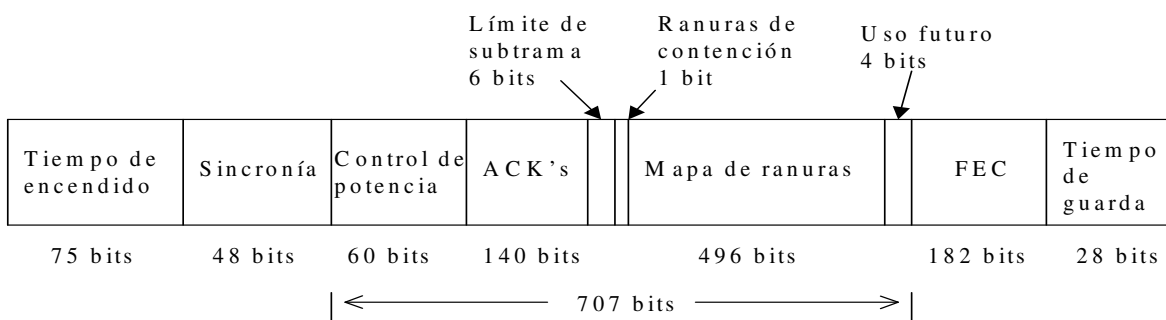


Figura 15. Mensaje de señalización.

La composición de cada uno de los campos del mensaje de señalización se describe a continuación:

Control de potencia de terminales remotas activas, se requieren 8 bits para representar el WVCI de la terminal remota, un bit para indicar incremento o decremento, y tres más para indicar la cantidad de potencia, dando un total de 12 bits, y se mandará este mensaje a 5 terminales remotas por trama, lo que conlleva a un campo de 60 bits (figura 16).

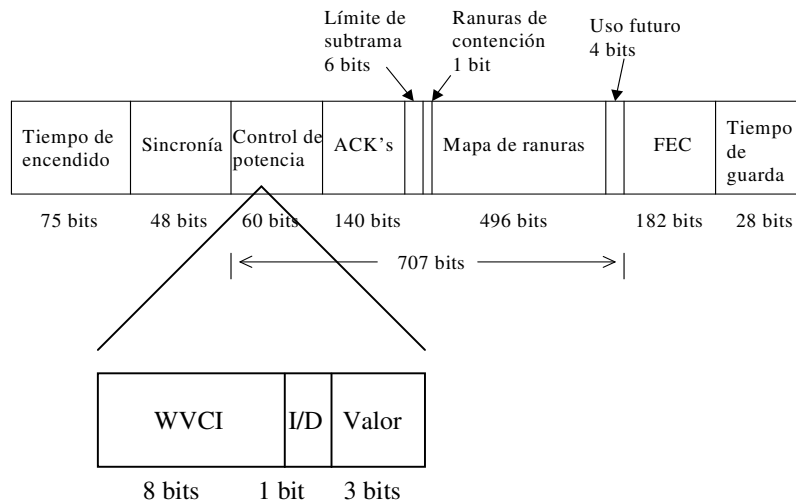


Figura 16. Campo de control de potencia (información para 1 de las 5 terminales)

- ✓ Reconocimiento (ACK) por cada petición enviada por una terminal remota, se usan 8 bits para indicar el WVCI de la terminal solicitante, 8 más para asignación de WVCI de la terminal remota (el cambio de la antigua identificación por la nueva), si no se requiere una nueva asignación ambos contenidos serán iguales, 1 bit para la afirmación o negación de asignación de ranura(s) y 3 bits para indicar intertrama, por lo que se utilizarían 20 bits por reconocimiento, y como se tendrá un máximo de siete peticiones recibidas por trama, esto conlleva a tener un campo reconocimientos de 140 bits (ver figura 17).
- ✓ Límite de subtrama, se indicará en que ranura se localiza el límite entre las subtrama ascendente y descendente, para este campo se utilizan 6 bits con los cuales se representa el numero de ranura (con 6 bits se representan los números del 0 al 63 en decimal).
- ✓ Mapa de ranuras, será un WVCI por ranura, con lo cual se requiere de un total de 496 bits (tamaño del WVCI (8 bits)* ranuras (62)), recordando que dos ranuras son utilizadas para señalización y nunca podrán ser utilizadas como ranuras de asignación.

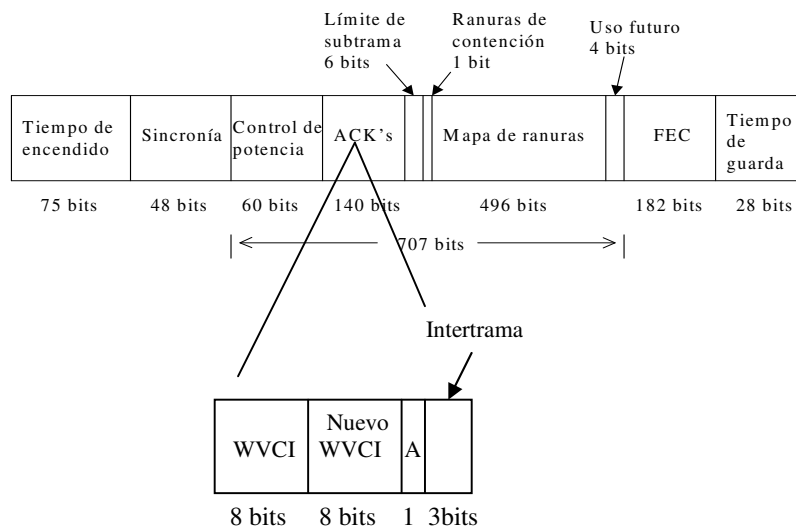


Figura 17. Campo de reconocimientos (información para 1 de los 7 posibles peticiones)

- ✓ Total de ranuras de contención, pueden ser tres o siete, por lo tanto es necesario un solo bit.
- ✓ Se dispone de un campo con cuatro bits para uso posterior. En caso de ser necesario podrían ser utilizados como extensión para el campo de reconocimiento, para la indicación de intertrama. Con esto se podría tener un valor de intertrama mayor con lo cual se daría servicio a terminales remotas de baja tasa de transmisión.

Tal como se ha venido reiterando el mensaje de señalización es utilizado como el medio de comunicación entre la estación base y las terminales remotas, a través de éste se mantiene control en el acceso y uso del recurso llamado ancho de banda de una manera eficiente y ordenada, cumpliendo con una serie de contratos establecidos entre los usuarios y el sistema, que involucren la calidad de servicio.

V.3 CONSIDERACIONES PARA EL ALGORITMO PARA LA DIFUSIÓN DE SEÑALIZACIÓN

Para el desarrollo del algoritmo es necesario hacer una serie de consideraciones y suposiciones, esto debido a que es imposible manejar todos los aspectos reales que involucran a las redes inalámbricas, al canal de radio, y a los esquemas de acceso. Esto principalmente se debe a la limitación del tiempo del que se dispone para el desarrollo de este trabajo de investigación. Las consideraciones tomadas para el desarrollo del algoritmo se enlistan a continuación:

- ✓ Se establece la técnica de acceso aleatorio S-ALOHA como la técnica utilizada durante la contienda por el acceso del recurso.
- ✓ Se cuenta con un algoritmo de aumento o disminución del periodo de contienda basado en las condiciones del tráfico que se presente en el sistema, pasando de tres a siete miniranuras o de siete a tres miniranuras.
- ✓ Cada terminal con información a transmitir envía un paquete de petición, seleccionando de manera aleatoria con una distribución uniforme una de las tres o siete miniranuras para contienda. Si alguna terminal colisiona durante la contienda, entrará en función el algoritmo de retransmisión por prioridad de potencia APP.
- ✓ Se cuenta con movilidad del límite entre las subtramas para el manejo de tráfico asimétrico. El tráfico CBR es siempre simétrico.
- ✓ Se considera de mayor prioridad al grupo de servicios sensibles al tiempo, CBR y rt-VBR. Los servicios restantes, nrt-VBR, ABR y UBR son considerados como de baja prioridad.
- ✓ La estación base difundirá un mensaje de señalización para hacer saber a las terminales las condiciones del canal y para el envío de los reconocimientos de los paquetes de petición capturados libres de error enviados por las terminales.
- ✓ El área de cobertura es una picocelda con un radio de 200 metros y existe línea de vista entre las terminales remotas y la estación base por lo que se considera un canal con desvanecimiento Rician.

- ✓ Las terminales se encuentran distribuidas en forma de anillo en el límite de la picocelda alrededor de la estación base, como se muestra en la figura 18.
- ✓ Las terminales son fijas o se mueven a una velocidad muy lenta, por lo que el desvanecimiento por sombreado y el efecto doppler son nulos.
- ✓ No se considera el handover o traspaso de células.

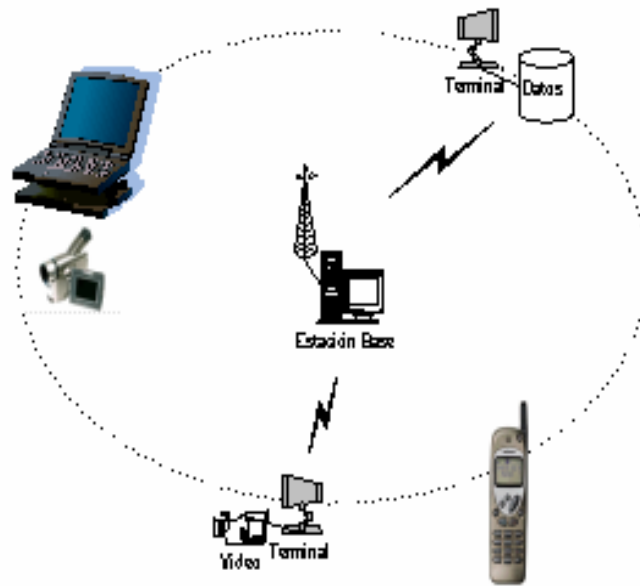


Figura 18. Arquitectura de la red WATM utilizada

V.4 DESARROLLO DEL ALGORITMO PARA LA DIFUSIÓN DE SEÑALIZACIÓN

Para desarrollar el algoritmo para la difusión del mensaje de señalización se tomaron en cuenta muchos de los aspectos abordados en el capítulo anterior, como prioridad de potencia, límite movable, cantidad de miniranuras, etc., tales aspectos constituyen parte de la información que será utilizada para la formación o actualización de dicho mensaje.

Este algoritmo de difusión de señalización lo constituyen una serie de funciones o actividades que deberán ser llevadas a cabo por la estación base y que están encaminadas a construir y actualizar el mensaje de señalización. La estación base se encarga de verificar las condiciones del canal y del sistema para ofrecer servicio a cada una de las terminales remotas solicitantes garantizándoles el QoS requerido. Para el envío de esta información la estación base emplea el mensaje de difusión colocando la información correspondiente en cada uno de los campos adecuados. Por ejemplo, si alguna terminal remota solicita recurso, la estación base debe informarle a ésta si recibió su petición utilizando para ello el campo de reconocimiento, en caso de que se le asigne a esta terminal ranura o ranuras para su transmisión-recepción de información, la indicación se le hace saber en el campo de mapa de ranura.

En la contraparte, esto es, en las terminales remotas y con la finalidad de completar el algoritmo, es necesario de igual forma introducir funciones para la lectura e interpretación del mensaje de señalización. Todas estas funciones que deben realizar tanto la estación base como las terminales giran alrededor de la difusión de señalización.

V.4.1 GENERACIÓN DEL MENSAJE DE SEÑALIZACIÓN

Una de las operaciones de mayor relevancia de la estación base es el mantenimiento del control del acceso de las terminales remotas que comparten una misma picocelda, la manera en que se lleva el control es tal como se ha mencionado, a través de la difusión de señalización. Para llevar a cabo dicha actividad, la estación base tiene la tarea de generar un mensaje, para lo cual se apoya de la información que constantemente recibe del sistema.

La primera actividad que realiza la estación base cuando principia su operación, es informar sobre el estado del canal, difundiendo el mensaje que forma con las condiciones iniciales del sistema. Al inicio, el límite entre subtramas está puesto en la ranura 32, y el número de minirranuras para la contención es de 3, esta información es de suma importancia, ya que les indica a las terminales remotas el inicio del período de contención y la duración que este

período tiene. De la misma forma, al inicio de operaciones de la estación base el mapa de ranuras contiene solo WVCI no válidos, lo cual indica que ninguna ranura está ocupada, un WVCI no válido es representado por el número 255.

Una vez realizada esta operación la siguiente y todas las veces que la estación base deba formar y difundir el mensaje lo llevará a cabo actualizándolo con la información que recabe de las terminales remotas.

La información requerida para la actualización de los mensajes de señalización es obtenida a través de las peticiones enviadas por cada una de las terminales remotas activas. Cuando la estación base recibe un paquete de petición por parte de una terminal remota solicitando servicio, ésta revisa las condiciones del canal para determinar si puede o no ser posible el proporcionarle recurso para que inicie su transmisión con la garantía de calidad requerida; al recibir el paquete verifica si existe en espera alguna petición de mayor prioridad que la del paquete recibido, con la finalidad de establecer las prioridades de atención para la asignación de las ranuras sobre las cuales la terminal transmitirá. La estación base realiza el cálculo del número de ranuras requeridas por una terminal remota y si tiene libre dicha cantidad de ranuras entonces se las asigna, de lo contrario, sino dispone de tal cantidad, tendrá la decisión de quitárselas a otro servicio de menor prioridad para proporcionarlas a la terminal, o bien, mandar la petición a cola de espera y una vez que se desocupen las ranuras se le pueda proporcionar recurso. En la figura 19 se muestra el diagrama de operación de la estación base.

V.4.2 LECTURA DEL MENSAJE DE SEÑALIZACIÓN

La operación de una terminal remota basa sus fundamentos en el mensaje de señalización difundido por la estación base. Toda terminal, tenga o no información que transmitir, recibe el mensaje y dependiendo de la actividad que la terminal tenga que realizar será la acción que se tome.

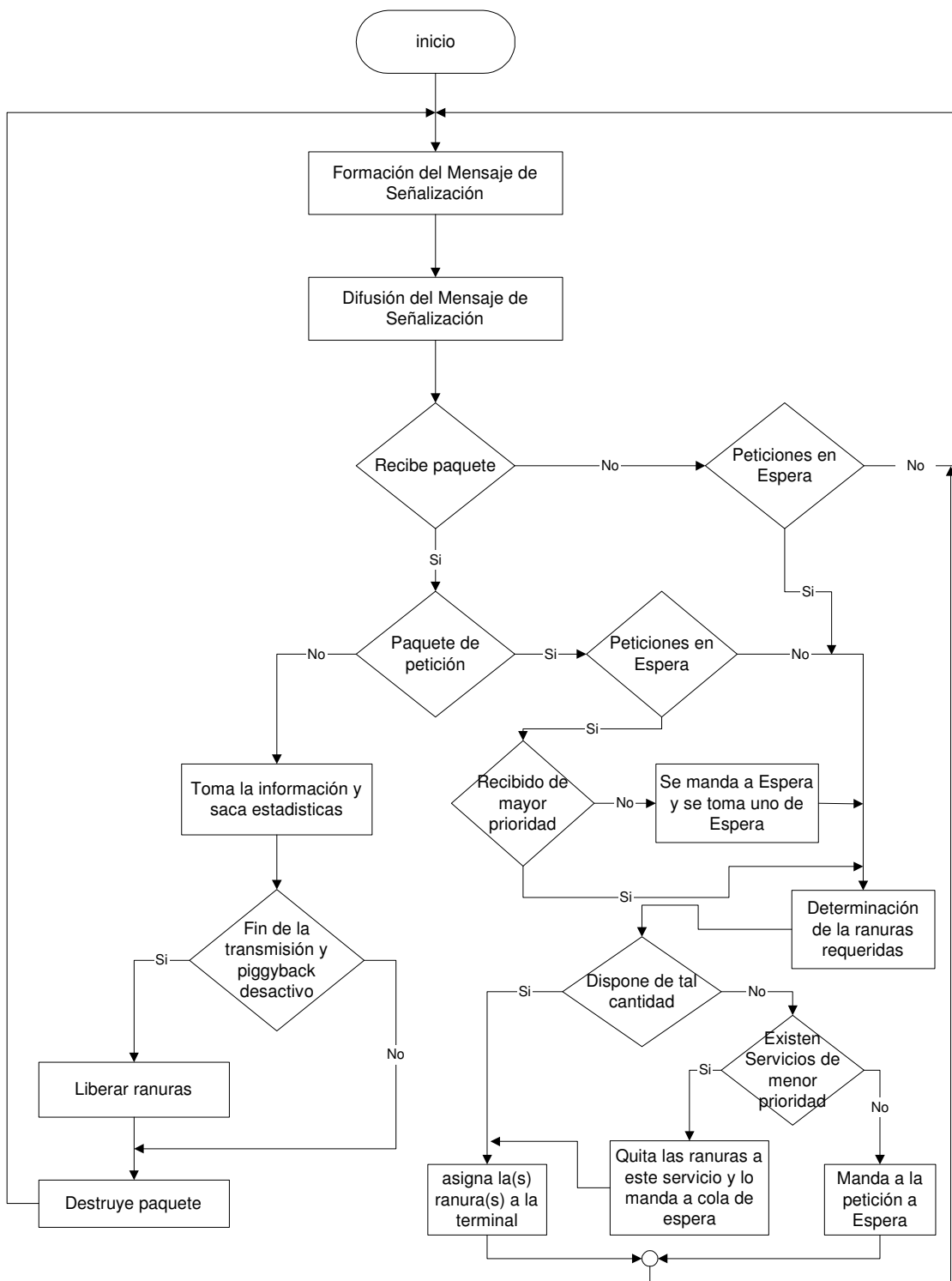


Figura 19. Diagrama de operación de la estación base.

Cuando una terminal remota requiere iniciar la operación de transmisión de información envía un paquete de petición en una de las miniranas de contención seleccionada al azar. El tiempo en el cual la terminal puede contender es obtenido de la lectura del mensaje. Para saber la situación de la petición enviada por la terminal remota, es necesario esperar por un siguiente mensaje de señalización, una vez reconocida su petición, esto es, que la base la capturó, si se le asigna ranuras, la terminal debe calendarizar su transmisión en la siguiente trama. En el caso de que fuera reconocida su petición pero no se le asignaran ranuras, la terminal tendrá que retrasar su transmisión hasta el momento que le indiquen que ya tiene ranuras. Ahora bien, si no es reconocida la petición de la terminal entra en operación el algoritmo de retransmisión por prioridad de potencia (APP) con el cual la terminal elige de un intervalo de potencias, un nuevo nivel de potencia para transmitir, con la única finalidad de que pueda ser reconocida su petición. El nivel de potencia a elegir depende del tipo de servicio manejado por la terminal remota, con lo cual se asegura que terminales con servicios de mayor prioridad tengan una mayor probabilidad de ser atendidas. En la figura 20 se muestra la operación de la terminal remota.

V.5 PIGGYBACK

Un mecanismo que se implementó como parte del protocolo MAC propuesto y que no forma parte del algoritmo para la difusión de señalización fue el acarreo en las terminales, a través del uso del bit “piggyback” del paquete de información ascendente, esto, con la finalidad de disminuir el número de peticiones circulantes en el sistema. Con la utilización de este bit, una terminal remota que tiene ganado el recurso, puede continuar disponiendo de él, mientras tenga información para transmitir.

Cuando una terminal en estado de transmisión está enviando su último paquete de información y se percata que le llegó nueva información, o que tiene información esperando en cola, ésta activa el bit “piggyback” , poniendo el bit en 1, con lo cual evita el tener que enviar un nuevo paquete de petición para contender nuevamente por el acceso. Con esto se le garantiza a las terminales remotas un retardo constante.

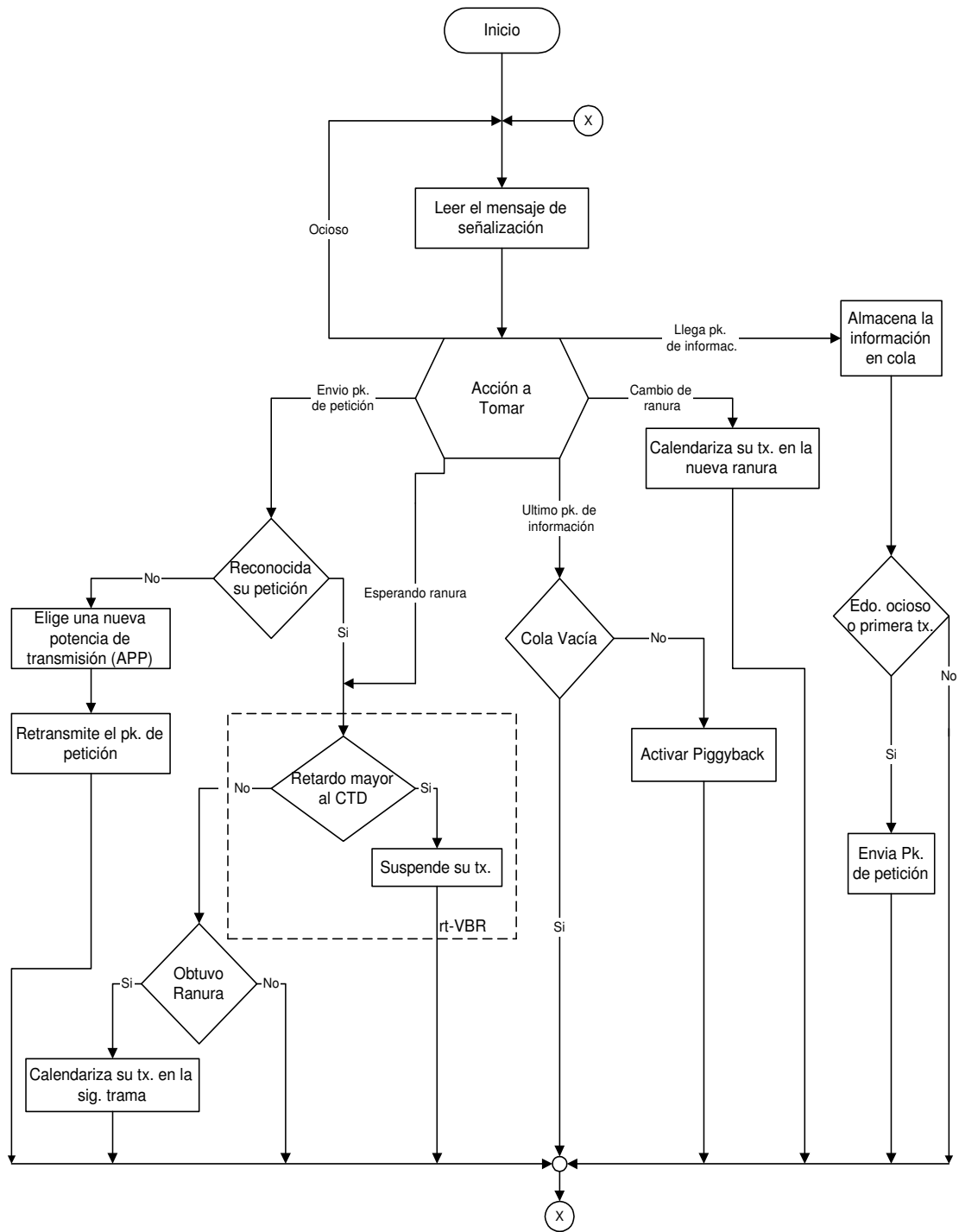


Figura 20. Diagrama de operación de las terminales remotas.

De la misma forma la estación base debe estar pendiente del bit de acarreo con la finalidad de continuar proporcionándole las ranuras a la terminal remota. Para llevar a cabo esto, realiza una verificación del bit “piggyback”, el cual se activó o desactivó en el último paquete de la transmisión dependiendo de la situación de la terminal remota, en el caso de encontrarse activo, la estación base continuará proporcionándole el recurso.

CAPÍTULO VI IMPLEMENTACIÓN Y SIMULACIÓN DEL MODELO

VI.1 IMPLEMENTACIÓN

Se decidió llevar la implementación de este sistema inalámbrico para su evaluación al ámbito de la simulación, debido principalmente a que una implementación física sería muy costosa y difícilmente llevada a cabo en el corto tiempo que abarca el desarrollo de un trabajo de tesis y aún mas para llevar a cabo su evaluación de eficiencia. Además, cabe hacer mención que a través de una buena herramienta de simulación podemos obtener resultados confiables sobre el desempeño de nuestro sistema. Para realizar su implementación se utilizó la herramienta de simulación OPNET, la cual nos ofrece los elementos apropiados para la recreación del ambiente inalámbrico real que el modelo en OPNET representara. OPNET divide la mayoría de los modelos bajo tres ambientes, llamados dominio de modelo. En la tabla V se muestra un breve resumen sobre dichos dominios.

Tabla V. Dominios de modelado

Dominio	Propósito
Red	Concerniente a las especificaciones de un sistema en término de dispositivos de alto nivel llamados nodos, y enlaces de comunicación entre ellos.
Nodo	Concerniente a las especificaciones de las capacidades de los nodos en término de aplicación, procesamiento, encolado e interfaces de comunicación.
Procesos	Concerniente a las especificaciones de comportamiento para los procesos que operan dentro de los nodos del sistema.

Bajo estos tres dominios, de red, de nodo y de proceso se procedió a realizar la implementación del sistema WATM en el cual opera el algoritmo para la difusión de señalización, incluyéndose los algoritmos realizados previamente para completar el esquema TDMA/TDD propuesto.

VI.1.1 MODELO DE RED

El modelo de red define el alcance global de un sistema a ser simulado. Es la descripción de alto nivel de los objetos contenidos en el sistema, especificando la localización física, configuración e interconexión entre ellos. El tamaño y alcance de las redes modeladas puede ir desde lo sencillo hasta lo complejo. Un modelo de red puede constar en un solo nodo, un sola subred o una interconexión entre muchos nodos y subredes. Los principales bloques de construcción para los modelos de red son: subredes, nodos de comunicación y enlaces de comunicación.

Para la construcción de la arquitectura WATM a utilizar se emplearon nodos inalámbricos, llamados terminales remotas, estas terminales fueron distribuidas alrededor de un nodo que representa la estación base. Las terminales fueron colocadas en anillo con una distancia de 200 metros entre ellas y la base. Debido a que los nodos constituyentes de la red utilizan radio enlace para la comunicación, no se utilizaron enlaces físicos para la conexión entre las terminales y la estación base.

En la figura 21 se muestra la manera en que fue construida la red ATM y se observan 25 terminales remotas en el límite de la picocelda de 200 metros que forma la estación base, espaciadas a una distancia equidistante entre ellas. Este sistema es capaz de soportar hasta un máximo de 250 terminales remotas. La estación base se encuentra a una altura de 10 metros con respecto al nivel del suelo, mientras que la terminales remotas lo están a una altura de 1 metro. Existe línea de vista entre la estación base y las terminales remotas por lo cual se considera un desvanecimiento de Rician. La comunicación que se dará entre la estación base y las terminales remotas será llevada a cabo a través del canal radio.

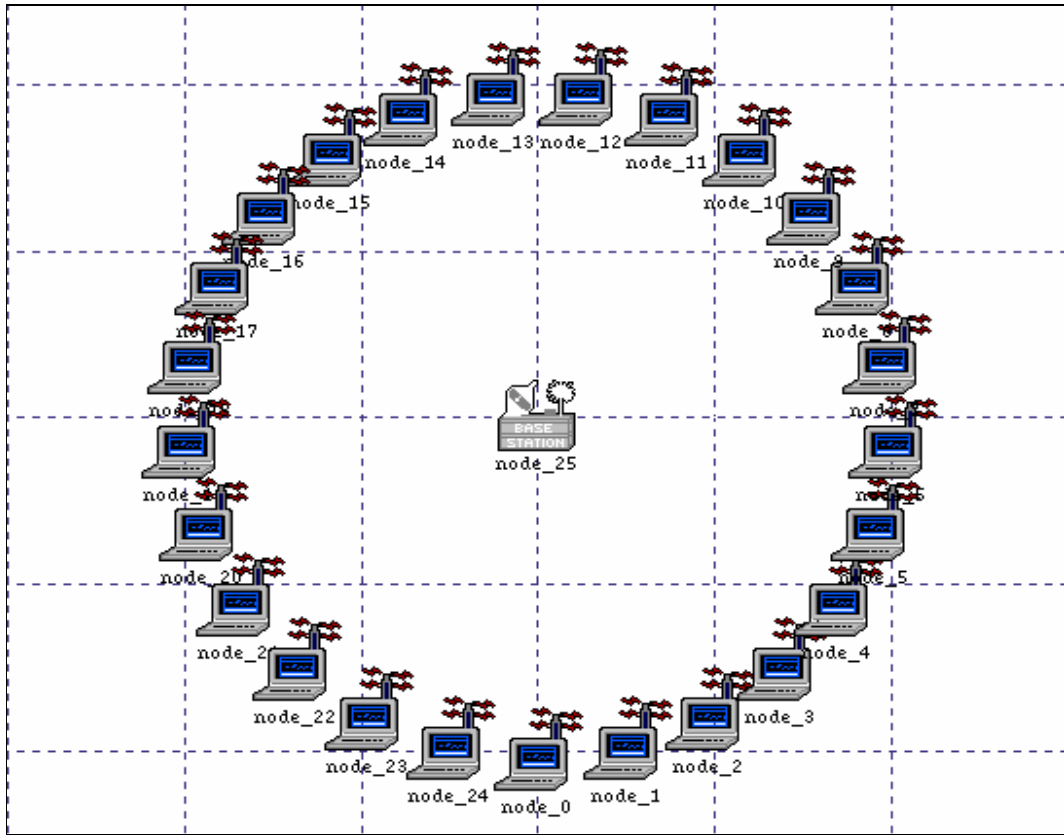


Figura 21. Modelo de red

VI.1.2 MODELO DE NODO

Los modelos de red en OPNET son construidos a partir de dos clases de componentes: nodos de comunicación y enlaces de comunicación. La estructura interna de estos objetos, no es visible a nivel de red. La complejidad de la estructura así como las actividades de los nodos de una red depende en gran medida del sistema que se está modelando.

Debido a que el objetivo principal de OPNET es la construcción de modelos de simulación ejecutables de redes de comunicación, las funciones internas de los nodos deben de ser modeladas de una manera correcta con la finalidad de que la simulación del comportamiento de la red sea precisa. El sistema provisto por OPNET es lo suficientemente poderoso como para especificar virtualmente casi cualquier nodo de comunicación. Mas

aún, permite el reuso de subestructuras de nodos y la compartición de actividades entre varios objetos. OPNET ofrece algunos tipos de nodos como: estaciones de trabajo, conmutadores de paquetes, terminales satelitales, sensores remotos de datos, etc., y da la posibilidad de construir los propios.

Para la construcción del sistema de red se crearon dos tipos de nodos, la estación base y la terminal remota, cada uno con sus especificaciones requeridas.

VI.1.2.1 MODELO DE NODO DE LA ESTACIÓN BASE

Para la estación base se utilizaron un radio transmisor, un radio receptor, una cola y un procesador, además de líneas de flujo de paquetes. En la siguiente figura se muestra la forma en que se definió la estación base.

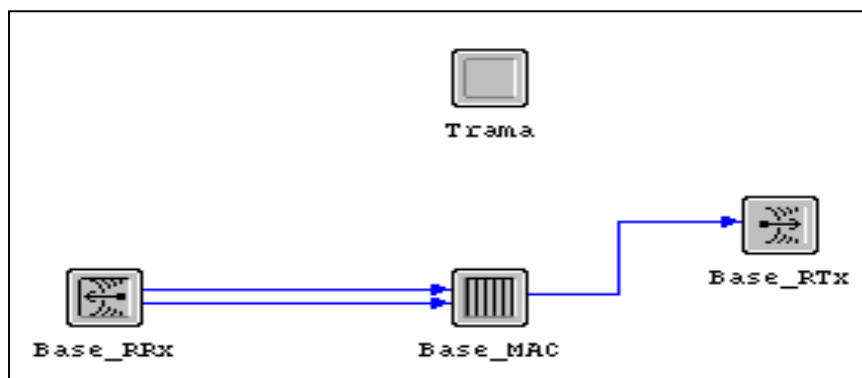


Figura 22. Modelo de nodo de la estación base

El radio receptor se encarga de recibir las señales generadas por las terminales remotas y procesar aquellas que empanan con las especificaciones dadas en sus atributos. De la misma forma el radio transmisor se encarga de enviar una señal de radio dada a la terminal remota que le corresponde. Tanto el radio receptor como el radio transmisor son objetos no programables, sin embargo, se da la posibilidad de especificar atributos para indicar la operación de éstos, entre los atributos tenemos modulación, canal, figura de ruido, ruido de

interferencia, ruido de fondo, tasa de error de bit (BER), modelo de captura, etc. Dentro de las características del canal se especifican la tasa de transmisión, el ancho de banda, la frecuencia de la portadora, la ganancia de procesamiento. Para la aceptación de la señal se deben de cumplir con una serie de etapas del radio enlace.

El módulo cola “Base_MAC” se encarga de realizar todos los procesos o actividades concernientes a la estación base, se encarga de la recepción y procesamiento de los paquetes, al igual que de la generación y envío de respuestas para las terminales remotas solicitantes de la prestación de servicio.

La comunicación entre el radio transmisor y el radio receptor con el módulo “Base_MAC” se realiza a través de líneas por donde fluyen los paquetes. A través de estas líneas circulan los diferentes tipos de paquetes soportados en este esquema por la estación base, en este caso, paquetes de petición y paquetes de información ascendente y las cuales son las unidades de información soportadas a nivel capa MAC.

Finalmente el proceso “Trama”, es el encargado de llevar a cabo el esquema TDMA. Indica el inicio y final de cada trama, importante para la sincronización entre la estación base y las diferentes terminales remotas que conforman al sistema.

VI.1.2.2 MODELO DE NODO DE LAS TERMINALES REMOTAS

Para la implementación de las terminales fueron utilizados un radio transmisor, un radio receptor, dos módulos colas, un procesador y las líneas de flujo de paquetes respectivas. En la figura 23 observamos la configuración de una terminal remota.

Al igual que ocurre en la estación base, en una terminal remota el radio receptor se encarga de recibir las señales, en este caso, las señales generadas por la estación base que empujan con las especificaciones establecidas a través de sus atributos. Por medio del radio

transmisor una terminal remota envía las peticiones necesarias para la solicitud de recurso y una vez que ésta logre el recurso, envía la información que requiere transmitir.

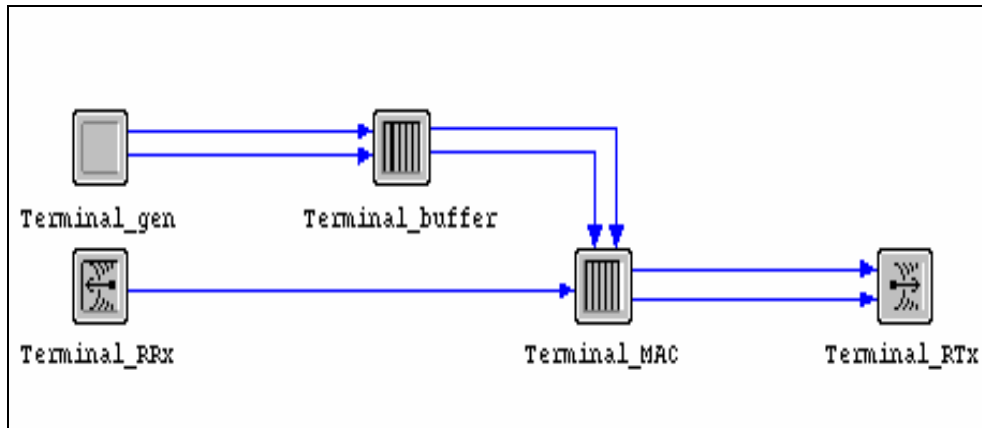


Figura 23. Modelo de nodo de la terminal remota

Una parte importante de la terminal remota es su fuente generadora de información, la terminal remota genera solo un tipo de servicio a la vez, el cual es elegido por la terminal al inicio de su operación. Para la implementación de los cinco diferentes servicios soportados se utilizó el proceso “Terminal_gen” dentro del cual se programan las operaciones necesarias para generar paquetes de información a través de los parámetros establecidos para cada tipo de servicio. En forma complementaria se utiliza un buffer “Terminal_buffer”, el cual obedece a un modelo FIFO (First In, First Out, el primero que entra es el primero que se atiende) y es en éste en donde se almacenan los paquetes a transmitir.

Lo concerniente a las operaciones de capa MAC realizadas por la terminal remota fue implementado en el modulo “Terminal_MAC” , entre estas operaciones se encuentran: envío de peticiones por acceso múltiple del canal, envío de paquetes de información cuando se ha ganado el uso del canal o lectura e interpretación del mensaje de señalización difundido por la estación base, operación necesaria para saber el estado de las ranuras del sistema y para la determinación de continuar una transmisión o la necesidad de permanecer en un estado de backoff.

Para la comunicación entre los diferentes módulos que conforman a la terminal remota son importantes las líneas de flujo de paquetes, en este caso, las terminales manejan como paquetes de entrada el mensaje de señalización y como paquetes de salida los paquetes de petición y los paquetes de información ascendente.

VI.1.3 MODELO DE PROCESO

Los modelos de proceso son utilizados para especificar el comportamiento de los módulos procesadores y colas que existen en el dominio nodo. Los modelos de proceso de OPNET pueden ser usados para implementar una amplia variedad de subsistemas hardware y software, incluyendo protocolos de comunicación, algoritmos, recursos compartidos como discos o memoria, sistemas operativos, disciplinas de encolado, generadores de tráfico, colectores de estadística, etc. Un proceso individual o un grupo de procesos están definidos para implementar una tarea particular dentro de un modulo procesador o cola. Un modelo de proceso puede realizar una o dos funciones, dependiendo de los módulos.

Un modelo de proceso es implementado a través de máquinas de estado finito (FSM, Finite State Machine) conectadas por medio de líneas de transición, y dentro de las cuales se puede introducir código de programación para que realice una tarea dada, el lenguaje de programación es el PROTO C, lenguaje propio de la herramienta OPNET. La transición entre las diferentes máquinas se da a través de interrupciones.

Las FSM pueden ser representadas a través de estados forzados o no forzados, dentro del OPNET los estados forzados son de color verde, mientras que los estados no forzados son de color rojo, y para este trabajo de tesis, el color claro representa a los estados forzados y el oscuro a los no forzados. Un estado se divide en dos partes, ejecutivas de entrada y ejecutivas de salida, (figura 24). Estas ejecutivas son el código a realizar cuando se llega a una FSM (ejecutivas de entrada) o bien cuando se va a transitar a otra FSM (ejecutivas de salida). Cuando un estado es forzado, las ejecutivas de entrada y salida se ejecutan sin

espera alguna, esto es, no existe diferencias entre la parte de entrada y salida. Cuando es un estado no forzado, se ejecutan las ejecutivas de entrada, se detiene y para poder realizar las ejecutivas de salida, la FSM debe esperar la ocurrencia de alguna interrupción, estas interrupciones pueden provenir de otro estado o bien interrupciones calendarizadas por el mismo.



Figura 24. Máquina de estado finito

Las transiciones de los estados pueden ser condicionales o incondicionales. Una transición condicional implica que para pasar al siguiente estado forzosamente se debe cumplir con alguna condición específica, ésta es representada a través de líneas punteadas. Las transiciones incondicionales indican un flujo continuo entre máquinas. A grosso modo, las transiciones entre los diversos estados formantes de un modelo de proceso ocurren a través de interrupciones y las líneas de transición conectadas entre ellos.

A continuación y de manera general se muestran los modelos de procesos implementados para la estación base y las terminales remotas del sistema inalámbrico a evaluar, es importante mencionar, que no se presenta el código programado en las ejecutivas de los estado utilizados para la construcción de los modelos de proceso por razones de espacio.

VI.1.3.1 MODELOS DE PROCESO DE LA ESTACIÓN BASE

Como se mencionó anteriormente, el modelo de nodo de la estación base cuenta con dos objetos programables, por lo cual es necesario la construcción de un modelo de proceso para cada uno de ellos: Uno para la técnica TDMA y otro para las actividades correspondientes a la capa MAC.

En la figura 25 se muestra el modelo de proceso para la técnica de acceso TDMA, el cual consta de tres estados, dos de ellos forzados y uno no forzado. El estado “inicio” es utilizado para la inicialización de todas aquellas variables a utilizar, el estado “trama” está encargado de generar una nueva trama, mientras que el estado “Nueva” tiene la función de esperar a que transcurran una trama, la cual tiene como duración 1.4469 ms, para regresar nuevamente al estado “trama”.

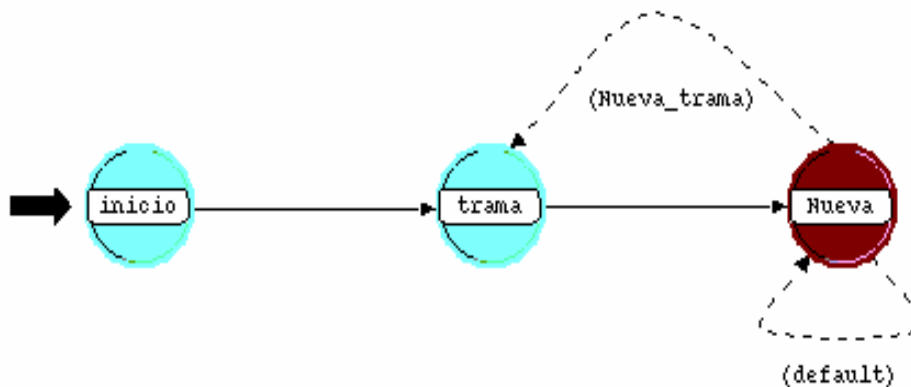


Figura 25. Modelo de proceso de la técnica TDMA

El modelo de proceso para las actividades de capa MAC de estación base (figura 26) es más complejo, constando de un número mayor de estados forzados y no forzados. De manera general opera de la siguiente forma, la estación base empieza estableciendo las condiciones iniciales del sistema (ubicación del umbral entre subtramas y número de miniranas para contención), tomando estas condiciones y sincronizándose con el inicio de una trama crea y difunde el mensaje de señalización a las estaciones remotas activas en el sistema, espera el inicio de la subtrama ascendente con la finalidad de revisar cada minirana, esto para saber si alguna terminal remota desea transmitir. En caso de recibir un paquete de petición, calcula las ranuras necesarias para el servicio tanto para transmisión como para recepción y revisa el estado de ocupación de las ranuras en el sistema y determina si puede o no proporcionarle ancho de banda, lo cual será informado a la terminal remota a través del mensaje de señalización que difunda en la siguiente trama. Es importante mencionar que para la asignación de las ranuras, la base toma en cuenta la prioridad del servicio solicitante lo cual es informado también a través del paquete de petición.

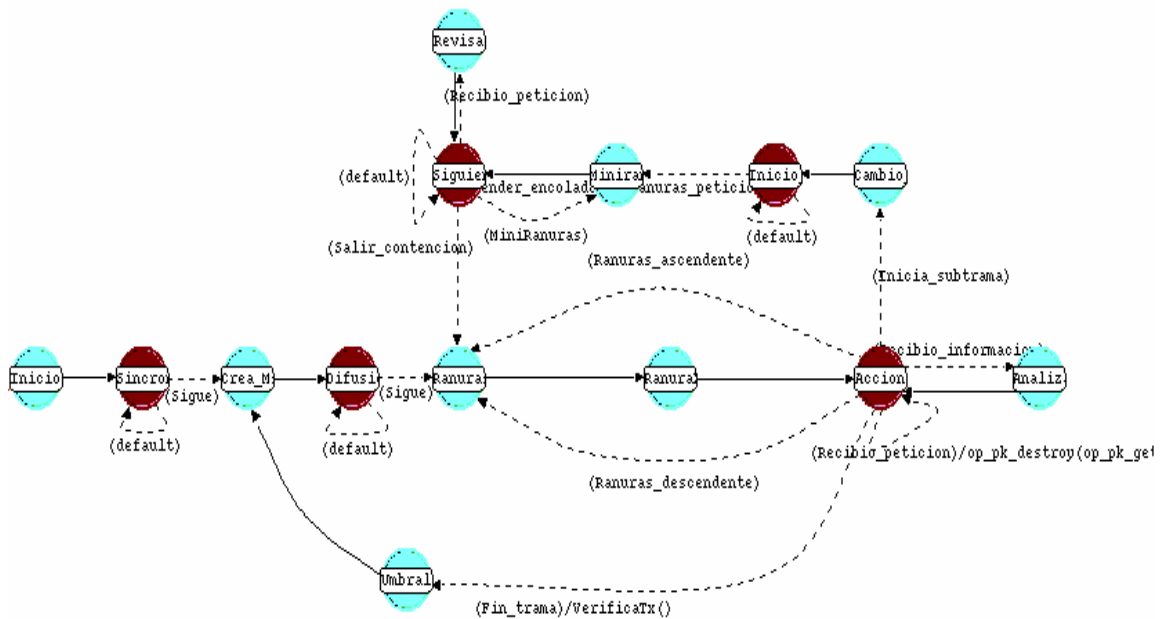


Figura 26. Modelo de proceso de la base correspondiente a la capa MAC

Para el envío del siguiente mensaje de señalización la estación base toma las condiciones actuales del sistema (posición del umbral, miniranuras de contención, peticiones capturadas y ranuras asignadas) para la actualización de éste y espera el inicio de la siguiente trama para difundirlo.

Cuando la estación base recibe los paquetes de información, toma las correspondientes estadísticas y destruye los paquetes. Tanto los paquetes de petición como los de información en este trabajo son solo utilizados como medios para la construcción de la estadística, para fines del análisis del desempeño del sistema y pierden su importancia una vez que arriban a la estación base, razón por la cual son destruidos en la misma.

Cabe hacer mención que las ranuras para información descendente no son utilizadas, ni analizadas por la estación base, pero se respeta la cantidad requerida por cada terminal remota y en caso de no haber ranuras descendentes disponibles no se podrá atender a la terminal solicitante.

VI.1.3.2 Modelos de proceso de las terminales remotas

Para la terminal remota los modelos de proceso requeridos fueron para las actividades de capa MAC y para la fuente de tráfico.

Con respecto a las actividades de la capa MAC de manera similar a la estación base, en la terminal remota se creó un modelo de procesos complejo (figura 27) y será descrito en forma breve. La terminal remota inicia eligiendo su identificador de canal virtual inalámbrico, el cual es elegido de manera progresiva, la primera terminal en iniciar actividades escoge el 0, la siguiente el 1 y así sucesivamente, de igual manera elige el tipo de servicio con el cual va a operar y espera por el mensaje de señalización para saber las condiciones del sistema.

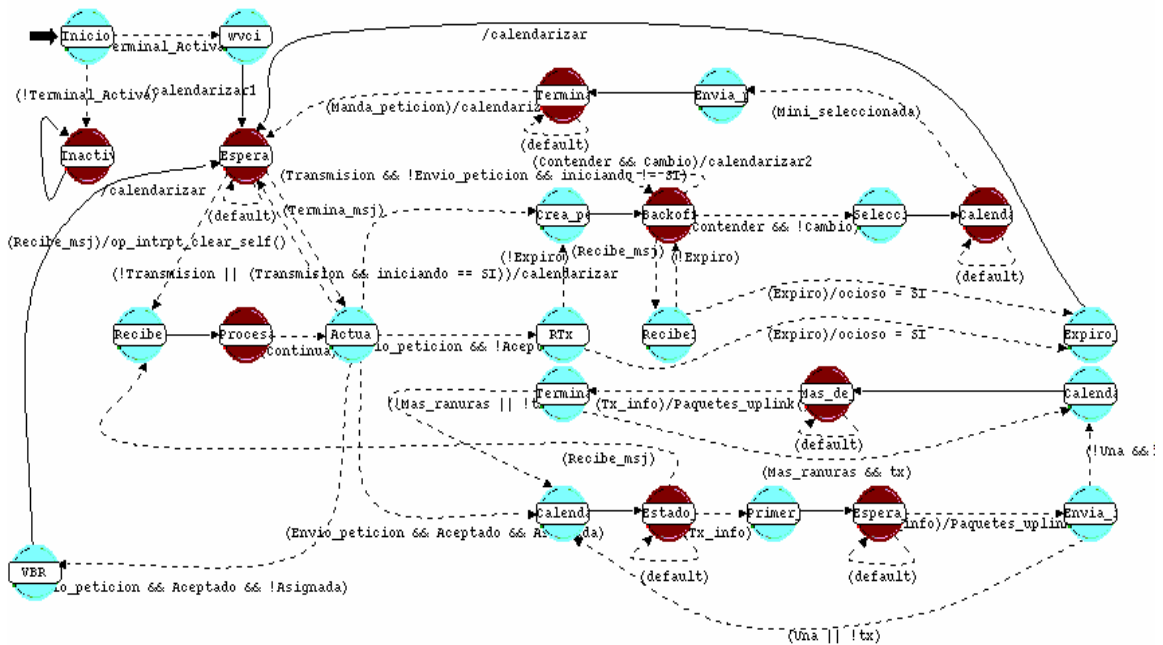


Figura 27. Modelo de proceso de la terminal correspondiente a la capa MAC

Cuando la terminal remota no tiene nada que transmitir, recibe el mensaje de señalización y lo destruye. En caso de que tenga algo que transmitir, lo primero que le interesa del mensaje de señalización es el campo del valor del umbral y el número de miniranuras, esto

con la finalidad de saber el momento exacto en el que comienza el periodo de contienda y la duración del mismo, entonces escoge una miniranura en forma aleatoria y calendariza el envío del paquete de petición. Cuando una terminal remota envía una petición y recibe el siguiente mensaje de señalización, lee en éste el campo referente a los reconocimientos; si su petición fue reconocida y le fue asignado ancho de banda (ranuras) lee el campo mapa de ranura para saber que ranuras utilizar para transmitir y para recibir y calendariza así en la siguiente trama el inicio de su transmisión. Es importante que una terminal en estado de transmisión revise el mensaje de señalización y lea el mapa de ranuras, por si acaso le son cambiadas sus ranuras o las pierde y en este caso deba detener su transmisión hasta que nuevamente tenga las ranuras para continuar su transmisión. Cabe aclarar que solo los servicios UBR y ABR pueden perder sus ranuras cuando se requieran para servicios de mayor prioridad.

Si la terminal remota que envió una petición al leer el mensaje de señalización no encuentra un reconocimiento, da por asumido que su petición estuvo involucrada en una colisión y es necesario una retransmisión. Es en este momento en donde entra en operación el algoritmo de retransmisión (APP).

Cuando la terminal remota está en modo transmisión solicita sus paquetes de información al buffer "Terminal_buffer", en caso de que sea su último paquete en la transmisión y se genere un nuevo paquete de información, la terminal remota activa el bit "piggyback" para avisar a la estación base que necesita conservar el recurso proporcionado para continuar transmitiendo.

Para la fuente de tráfico se creó un modelo de proceso con seis estados, el cual funciona para generar uno de los cinco tipos de servicios soportados (figura 28).

En el estado "inicio", se leen los parámetros dados para el tipo de tráfico seleccionado por la MAC de la terminal remota, después se pasa a un estado "Genera_t", en donde se calendariza el tiempo en cual se genera el paquete de información (de acuerdo con el tiempo de interarribo leído en el estado anterior) de longitud también especificada en los

parámetros (para el caso de servicio rt-VBR se lee un archivo de video en formato MPEG) o la duración si se trata de un servicio CBR, posteriormente se va al estado “Tiempo” a esperar que transcurra el tiempo para la creación del paquete de información o el inicio de la llamada, una vez transcurrido este tiempo se pasa al estado “Crea”, en el cual se crea el paquete de petición a ser enviado en la miniranura seleccionada por la terminal. En el caso de tratarse de un servicio diferente a CBR, en este mismo estado se crea el paquete de información, el cual es enviado al buffer “Terminal_buffer” fraccionado en celdas ATM (48 bytes) y en donde permanecerán hasta que la terminal pueda transmitirlos, esto, cuando consiga ganar el canal. Finalmente se regresa al estado “Genera_t” para calendarizar una nueva creación de un paquete de información.

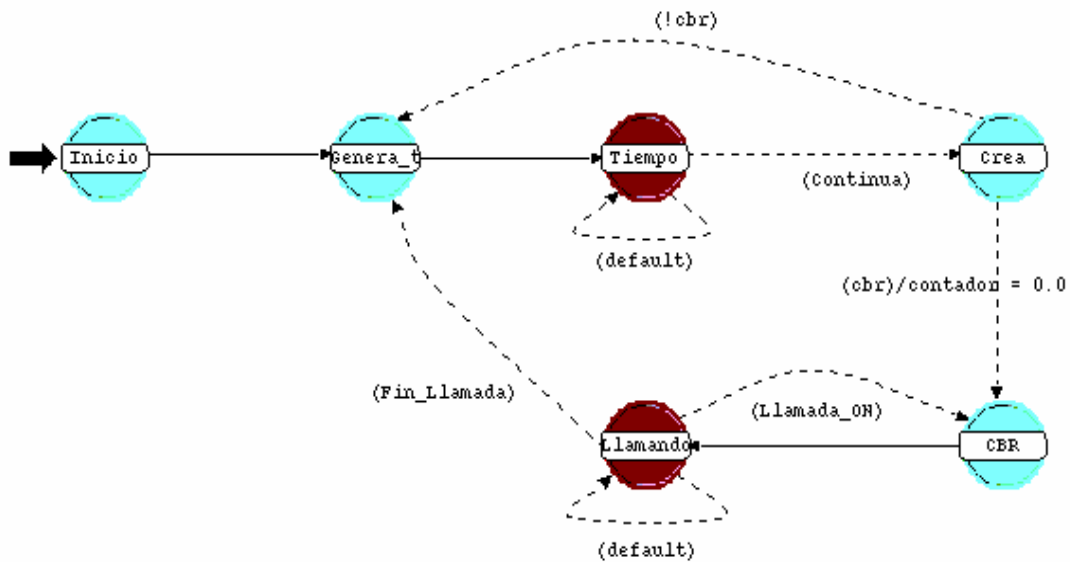


Figura 28. Modelo de proceso de la terminal para la generación de los diferentes tipos de tráfico

En caso de tratarse de servicio CBR, en el estado “Crea” solo se crea el paquete de petición, y se pasa al estado “CBR” en donde de manera constante se creará un celda ATM hasta completar la duración de la llamada. Una vez terminada la llamada se devuelve al estado “Genera_t”, para calendarizar una nueva llamada o conexión.

VI.2 SIMULACIÓN

Desde del punto de vista general, una simulación de OPNET opera bajo una secuencia de estados para un modelo de sistema dado. El modelo evoluciona a través de estos estados en función del tiempo, basándose en el comportamiento de los componentes del modelo y de sus interacciones. La noción del tiempo en una simulación no está directamente relacionada con el tiempo que toma para correr tal simulación. Las simulaciones en OPNET están basados en eventos discretos, donde el progreso del modelo en términos de tiempo de simulación está dado por puntos individuales en donde puede ocurrir un cambio. El término dado por OPNET para estos puntos es “eventos”. OPNET permite que ocurran múltiples eventos simultáneamente, lo que nos da la idea que el tiempo de ejecución de un evento es cero.

Para llevar a cabo el proceso de simulación del sistema implementado a través de la herramienta de simulación es necesario hacer una serie de consideraciones y establecer los parámetros requeridos para su ejecución.

VI.2.1 CONSIDERACIONES DE SIMULACIÓN

Las siguientes son las consideraciones tomadas para la simulación:

- ✓ Se modela el protocolo MAC con esquema TDMA/TDD.
- ✓ Una trama es de tamaño de 64 ranuras.
- ✓ Se utilizan tres o siete miniranuras para el periodo de contención, seleccionadas de manera aleatoria.
- ✓ De la subtrama descendente solo se analizan las dos primeras ranuras, equivalentes al mensaje de señalización.
- ✓ A través del mensaje de señalización difundido por la estación base, las terminales remotas obtienen la información acerca del estado actual de las miniranuras, pero no se contempla otro medio de retroalimentación para informar del estado de éstas en una trama anterior.

- ✓ El tiempo de procesamiento del mensaje de señalización por parte de las terminales es de una trama.
- ✓ Las estadísticas de desempeño en su mayor parte están basadas en los paquetes de petición.
- ✓ Cada terminal remota opera bajo un solo tipo de servicio y se le asigna un identificador de canal virtual inalámbrico (WVCI) único.
- ✓ No se considera Handover, efecto Doppler o sombreado.
- ✓ Las terminales remotas son fijas o su movilidad es casi nula.
- ✓ No se implementa la retroalimentación para el servicio ABR.
- ✓ Para los servicios CBR, después de los 10 intentos por conseguir el recurso y de no lograrlo, se cesarán sus intentos.
- ✓ Para los servicios rt-VBR se respeta el CTD establecido.
- ✓ Para los servicios de baja prioridad no se restringe el número de retransmisiones, ni el tiempo para lograr capturar el canal.
- ✓ Se implementa el mecanismo backoff en las terminales para reducir el número de colisiones.
- ✓ No se implementa el mecanismo de control de potencia ubicado en la estación base por estar fuera del alcance de este trabajo de investigación.
- ✓ Se establece en las terminales el mecanismo Piggyback.
- ✓ Se cuenta con un algoritmo (ADICACTM) para el incremento o decremento de periodo de contención según las condiciones del tráfico.
- ✓ Cuando una terminal se ve involucrada en colisión durante la contienda del recurso, entra en función un algoritmo de retransmisión por prioridad de potencia (APP).
- ✓ Cuando se inicializa el sistema, el tamaño de las subtramas es de 32 ranuras para cada una, posteriormente, dependiendo del tráfico y debido a la naturaleza de las comunicaciones el tamaño de las subtramas será asimétrica, de mayor tamaño la subtrama descendente.
- ✓ El tiempo de simulación es de 30 segundos, suficiente para la estabilización del sistema (tiempo de calentamiento) y no muy grande para el tiempo proporcional que toma el correr la simulación.

- ✓ El número de terminales remotas varía de 5 a 250. Limitado a un máximo de 10 terminales con servicio CBR y rt-VBR, para los demás servicios la cantidad de ellos es equitativa.

VI.2.2 PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

Para el establecimiento de los parámetros de simulación es de fundamental importancia la caracterización tanto de las fuentes de tráfico como del canal radio.

VI.2.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL TRÁFICO

Para la caracterización del tráfico se utilizaron cinco diferentes tipos de fuentes, por medio de las cuales se genera las diversas aplicaciones multimedia. Tales aplicaciones son: transferencia de archivos, canal de voz digitalizada, video comprimido, transferencia de imágenes, y correo electrónico, entre otros. Los parámetros utilizados para generar cada tipo de tráfico se muestran en la siguiente tabla [Ayala Hernández, 2000]:

Tabla VI. Características del tráfico

Parámetro	Tipo de tráfico				
	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	ABR	UBR
Velocidad del canal	64 kbps				
Conexiones por hora	30				
Duración media de llamada	30 seg.				
Video MPEG-1 (tramas/seg)	25				
PCR		1 Mbps	250 kbps	250 kbps	250 kbps
SCR		0.5 Mbps	120 kbps		
MCR				0 kbps	
CTD		90 ms.			
Tamaño paquete		Variable	10 kbits	10 kbits	10 kbits
Intervalo entre ráfagas			0.5 seg.	0.5 seg.	0.5 seg.

Para la simulación de tráfico CBR se utiliza una fuente generadora de llamadas en un canal de voz PCM. La generación de tráfico VBR de tiempo real está basada en un directorio que contiene una lista de trazos los cuales fueron tomados de un experimento de codificación de secuencias de video real [De la Fuente Tovar, 1999] y cuyo tamaño varía según la muestra tomada. El tráfico VBR de tiempo no real es generado mediante una función exponencial, en donde la tasa de arribo de los paquetes de este tipo de tráfico corresponde a una función de Poisson, y cuyo intervalo entre paquetes corresponde a una función de probabilidad exponencial. El tráfico ABR y UBR se comportan de manera muy similar. El MCR en la generación de ABR es colocada en cero para reducir al máximo el ancho de banda ofrecido cuando se presente una congestión excesiva en las ranuras del enlace ascendente. Para el tráfico UBR no se requiere especificar ningún parámetro debido a que le es asignado el ancho de banda disponible, de cualquier manera para que se cuente con una referencia del ancho de banda necesario se utiliza el PCR.

VI.2.2.2 CARACTERIZACIÓN DEL CANAL RADIO

Para llevar a efecto la simulación se utilizaron los siguientes parámetros especificados en los objetos radio transmisor y radio receptor de la estación base y de las terminales remotas, los cuales se muestran en la tabla VII.

Tabla VII. Características del canal radio

Especificación	Valor
Velocidad de transmisión	23 Mbps
Modulación utilizada	GMSK
Potencia de transmisión (estación base)	100 miliwatts
Potencia de transmisión (terminales)	0.625 a 160 miliwatts
Frecuencia de portadora	6 GHz
Ancho de banda utilizado	23 Mhz

VI.2.3 ESCENARIO DE SIMULACIÓN

Se realizaron 12 secuencias de simulación tomándose como escenario un modelo WATM con difusión de señalización y ejecutado bajo las condiciones de simulación antes mencionadas. Para tales efectos, fue implementado el algoritmo para la difusión de señalización descrito en el capítulo V bajo el esquema TDMA/TDD.

VI.2.4 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO

Para medir la eficiencia o desempeño del sistema inalámbrico es de suma importancia considerar una serie de parámetros, los cuales nos ayudarán en la evaluación del mismo. A continuación se señalan dichos parámetros. Es importante hacer mención que la evaluación de la red recae en gran parte sobre el esquema de contienda.

- ✓ Tráfico ofrecido de petición: número de paquetes de petición enviados por trama durante el periodo de contienda, siendo todos los paquetes que se envían por primera vez y los que se están retransmitiendo.
- ✓ Tráfico recibido de peticiones: paquetes de petición recibidos por trama libres de error alguno.
- ✓ Probabilidad de captura: relación de la cantidad de paquetes de petición capturados (tráfico recibido) entre la cantidad de paquetes enviados (tráfico ofrecido).
- ✓ Paquetes de petición colisionados: cantidad de paquetes involucrados en colisiones durante el período de contienda.
- ✓ Paquetes de petición retransmitidos: cantidad de paquetes que fueron transmitidos nuevamente.
- ✓ Caudal eficaz (throughput): utilización efectiva del canal de contención, esto es, la relación entre paquetes de petición enviados y el máximo número posible por enviar.
- ✓ Goodput: razón de paquetes de petición capturados libres de error y el ancho de banda disponible.

- ✓ Retardo medio para prestación de servicio: es visto como el tiempo promedio que le toma a una terminal remota obtener el canal para transmisión, desde que envía su paquete de petición hasta que recibe la respuesta de estación base.
- ✓ Tráfico generado uplink: cantidad de paquetes de información ascendente generados por las fuentes de tráfico durante la simulación.
- ✓ Tráfico recibido uplink: cantidad de paquetes de información ascendente recibidas libres de error en la base durante la simulación.
- ✓ Retardo promedio de los paquetes de información: el tiempo promedio que le toma a un paquete de información llegar a la estación base desde que fue creado.

CAPÍTULO VII ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tal como se ha venido mencionando, uno de los aspectos más importantes a considerar en una red ya sea alambrada o inalámbrica es la evaluación de su desempeño. Para llevar a cabo dicha evaluación es necesario tomar en cuenta una serie de parámetros como los son caudal eficaz, colisiones, retransmisiones, por mencionar algunos, los cuales a través de su análisis determinan si el desempeño del sistema es el apropiado para los fines para los cuales fue diseñado.

A continuación se muestran, a través de gráficas, los resultados obtenidos de la implementación y simulación del sistema WATM presentado y descrito en los capítulos anteriores de este trabajo de investigación. De la misma forma se hace una comparación de los resultados presentados en [Ayala Hernández, 2000] del protocolo, el cual no cuenta con difusión de señalización ni mecanismo “piggyback”, contra los resultados obtenidos una vez implementados éstos.

VII.1 CAUDAL EFICAZ

Para el canal de contención se utiliza la técnica aleatoria S-ALOHA, la cual ofrece un caudal eficaz máximo teórico de 0.36 cuando no se considera el efecto captura y de acuerdo a [Sánchez J y Smith D., 1999] de 0.60 cuando se considera el efecto captura. Por caudal eficaz entendemos a la utilización efectiva del canal de contención, esto es, el máximo aprovechamiento de las miniranuras de contención para el envío de peticiones de las terminales remotas. Para efectos de análisis en este trabajo de investigación será manejado en dos partes, la primera cuando se cuenta con tres miniranuras para contención y la segunda para cuando se tienen siete miniranuras, ya que el comportamiento del sistema varía de acuerdo a la cantidad de miniranuras empleadas.

En la figura 29 se muestra el caudal eficaz de acuerdo al tráfico ofrecido por el conjunto de terminales remotas que conforman la red inalámbrica cuando el sistema está trabajando con tres miniranuras para la contención. Se puede observar que el caudal eficaz se incrementa conforme aumenta el tráfico ofrecido en el sistema hasta alcanzar un máximo de 0.63 cuando el tráfico es de 1.40 peticiones por trama, demostrando con esto el buen aprovechamiento de las miniranuras de contienda para luego descender conforme continúa aumentado el tráfico, esto debido principalmente a que a mayor tráfico mayor es la probabilidad de colisiones entre las peticiones generadas, con lo cual disminuye la eficiencia en el uso de las miniranuras. Este valor máximo de caudal está por encima del teórico ofrecido por S-ALOHA sin efecto captura y muy similar al esperado cuando se maneja S-ALOHA con efecto captura en un canal Rician.

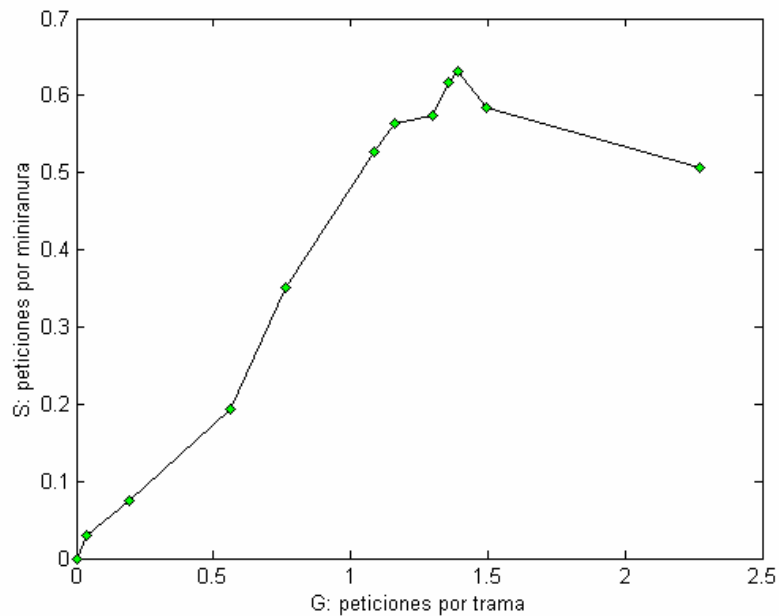


Figura 29. Caudal eficaz contra tráfico ofrecido utilizando 3 miniranuras

Cuando el sistema opera bajo las siete miniranuras de contención los resultados del caudal eficaz difieren en relación a cuando se emplean las tres miniranuras. En la gráfica 30, se aprecian tales resultados, se observa que el aprovechamiento de las miniranuras se

incrementa conforme aumenta el tráfico, hasta alcanzar un máximo de 0.34 con el máximo tráfico ofrecido por las terminales del sistema, el cual está por debajo del teórico ofrecido por S-ALOHA. Debido a la tendencia de aumento observada en la gráfica y a los resultados obtenidos cuando el sistema opera con tres miniranuras, se puede inferir que el sistema alcanza el valor teórico ofrecido, sin embargo no se puede afirmar, ya que de acuerdo a los resultados obtenidos en [Flores Troncoso, 2000] se demostró que el sistema está muy sobrado para las siete miniranuras, por tal motivo es poco probable tener tráfico muy alto con lo cual se podría comprobar el máximo caudal eficaz que alcanza el sistema operando con las siete miniranuras, aunado también al hecho que se implemento el mecanismo piggyback con el cual el número de peticiones a enviar se reduce de manera considerable.

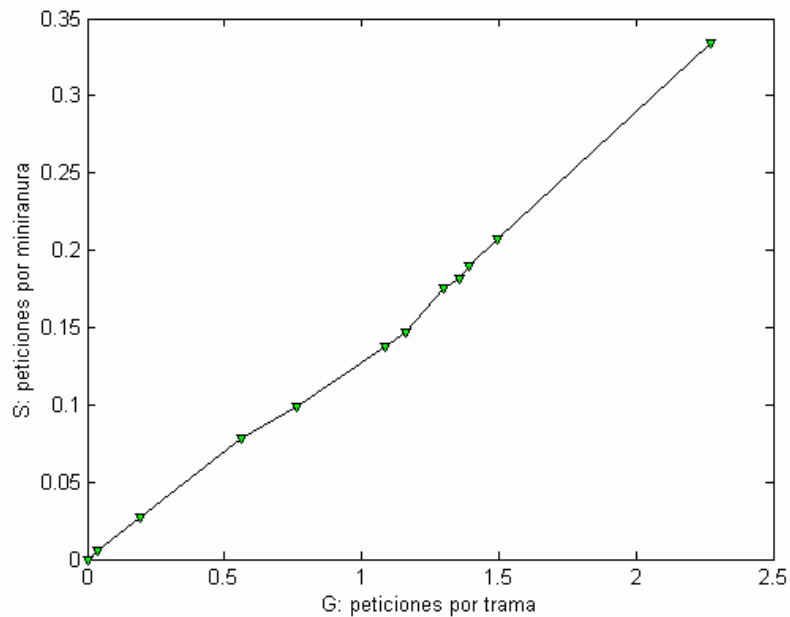


Figura 30. Caudal eficaz contra tráfico ofrecido utilizando 7 miniranuras

Continuando con el caudal eficaz, en las siguientes gráficas se muestra el comportamiento de éste en función del número de terminales remotas que en ese momento se encuentran activas en el sistema inalámbrico, y se observa que la tendencia del caudal eficaz es el de aumentar conforme el número de terminales es mayor, esto debido a que el tráfico ofrecido va en relación directa con la cantidad de terminales remotas. Esto es presentado en la

figura 31, en la cual una de las gráficas corresponde al caudal eficaz contra el número de terminales cuando se manejan tres miniranuras de contención y la otra corresponde al caudal eficaz cuando se emplean, en lugar de tres, las siete miniranuras de contención.

Se puede observar, en ambas gráficas, que los máximos caudales se alcanzan cuando se emplea un número de terminales remotas mayor de 200, con lo cual se puede establecer que el sistema soporta de manera adecuada a los usuarios.

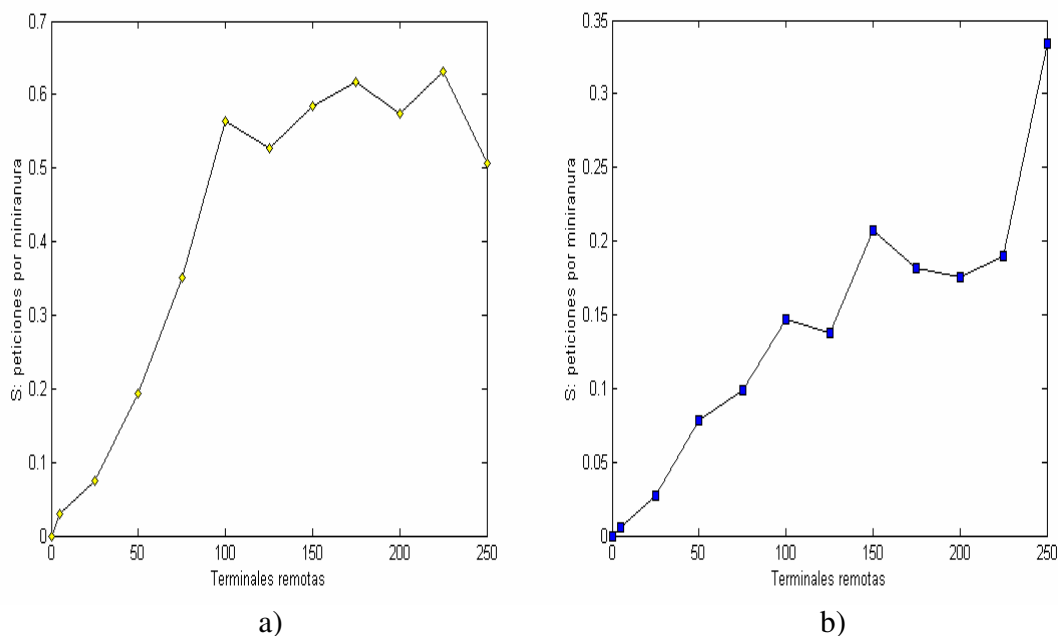


Figura 31. Caudal eficaz generado por las terminales remotas a) con 3 miniranuras, b) con 7 miniranuras

En las gráficas se observan caídas del caudal eficaz provocadas por el aumento del tráfico ofrecido en el sistema, esto debido al incremento del número de terminales remotas en la red y ya que el aumento del periodo de contención depende de la dinámica del tráfico, estos periodos se mantienen por espacios de tiempo mayor lo que conlleva a que la utilización de las miniranuras sea desaprovechada, bajando con ello el valor de dicha utilización, esto es, bajando el caudal eficaz.

VII.2 GOODPUT

Con respecto a los paquetes de petición libres de error capturados por la estación base se aprecia que el comportamiento de los protocolos desarrollados en [Ayala Hernández, 2000] y en este trabajo de tesis es muy similar, sin embargo, se observa que el goodput resultado de este trabajo es menor, la razón principal es, sin duda alguna, el mecanismo “piggyback” implementado, con el cual se reduce el número de peticiones circulantes en el sistema por lo que la cantidad de peticiones posibles a capturar libres de error también se ve decrementada. Esto lo podemos observar en la figura 32, en la cual vemos que el goodput máximo obtenido en el protocolo aquí propuesto es de 22% comparado contra el 25% presentado en [Ayala Hernández, 2000].

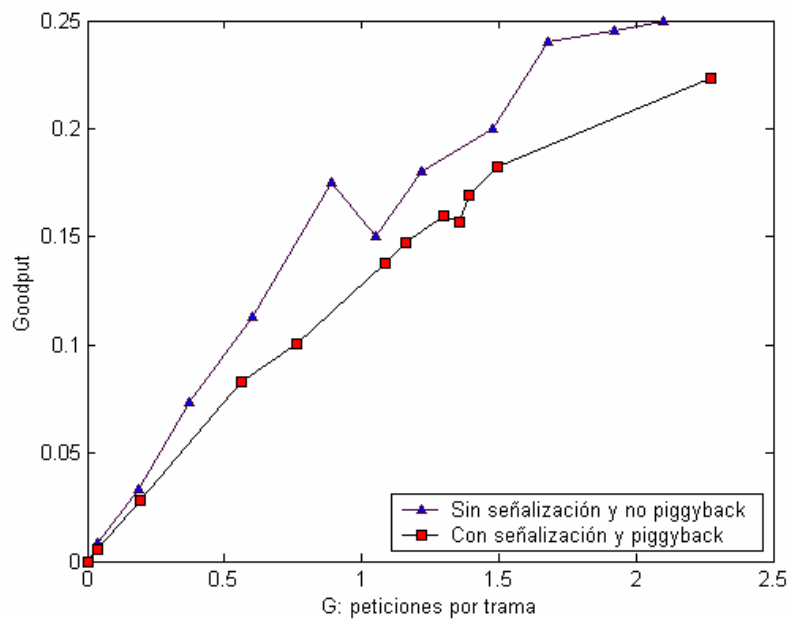


Figura 32. Goodput en función del tráfico ofrecido

VII.3 RETRANSMISIONES

Un fenómeno relacionado estrechamente con las colisiones que ocurren en el sistema es sin duda alguna la retransmisión. A medida que las colisiones ocurren, debidas al incremento del tráfico ofrecido en el sistema, el número de peticiones que tendrán que ser nuevamente transmitidas aumenta. Las retransmisiones es un parámetro que se encuentra fuertemente relacionado con el desempeño de todo sistema, a medida que las retransmisiones aumentan el caudal eficaz se ve afectado, haciendo que el tráfico ofrecido se incremente y la posibilidad de utilizar el canal de contención se disminuya. Como se puede observar en la figura 33, las retransmisiones en el sistema implementado aumentan casi de manera lineal con respecto al tráfico ofrecido, manteniéndose una relación de aproximadamente 26% entre las retransmisiones y el tráfico ofrecido antes de alcanzar un tráfico de 1.5 peticiones por trama. Llegándose a un máximo de retransmisiones de 0.65 peticiones por trama cuando se alcanza el máximo tráfico ofrecido por el sistema que es de 2.25 peticiones por trama.

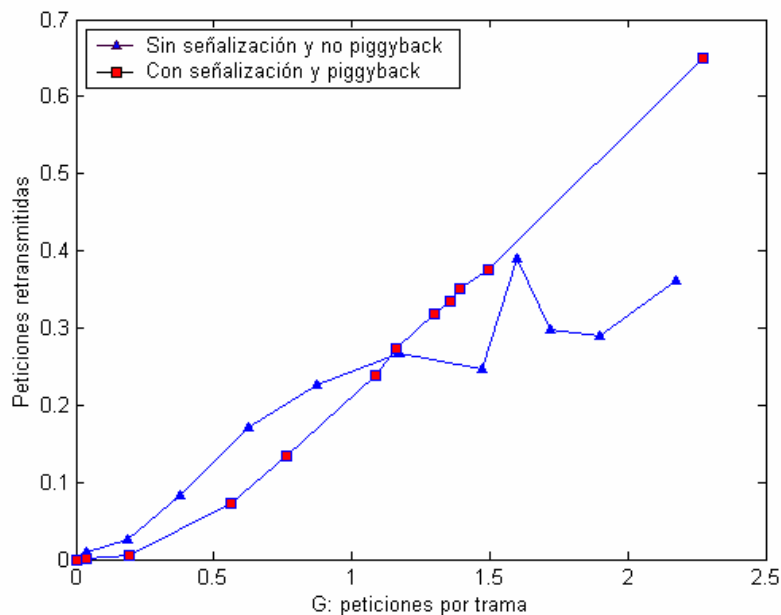


Figura 33. Retransmisión de peticiones contra tráfico ofrecido

Comparando los resultados, se puede observar que la cantidad de retransmisiones presentadas en [Ayala Hernández, 2000] es mayor antes de alcanzar como tráfico 1.1 peticiones por trama, sin embargo después de este valor de tráfico, el número de retransmisiones es inferior.

Un factor que puede contribuir a incrementar las retransmisiones en el sistema puede estar dado por el hecho de perderse el mensaje de señalización o que éste presentara demasiados errores y que la terminal remota interpretara como que su petición no fue atendida y se vea en la necesidad de volver a transmitir la petición.

VII.4 PAQUETES DE PETICIÓN PERDIDOS

La pérdida de paquetes de petición dentro del sistema se puede dar por diversas circunstancias, dentro de las cuales destacan principalmente por colisiones, por errores en los paquetes o por expirar para el caso de las peticiones de los servicios sensibles al tiempo.

Cuando los paquetes de petición llegan con errores a la estación base y estos errores sobrepasan la capacidad de corrección, la estación base los desecha. De igual manera los desecha cuando debido al tiempo, la base ya no es capaz de cumplir con el QoS establecido, para aquellos servicios en donde el tiempo es un factor importante en el compromiso celebrado entre el usuario y el sistema. Lo anterior aunado a las colisiones, provoca el incremento de las retransmisiones que se presentan en el sistema.

En la figura 34 se observa que el número de paquetes de petición perdidos está en proporción directa con el tráfico ofrecido, manteniéndose este número en un valor bajo cuando el tráfico generado se mantiene bajo e incrementándose conforme aumenta el tráfico. Se puede observar que la cantidad de peticiones perdidas se redujo en un 40 % en relación con [Ayala Hernández, 2000].

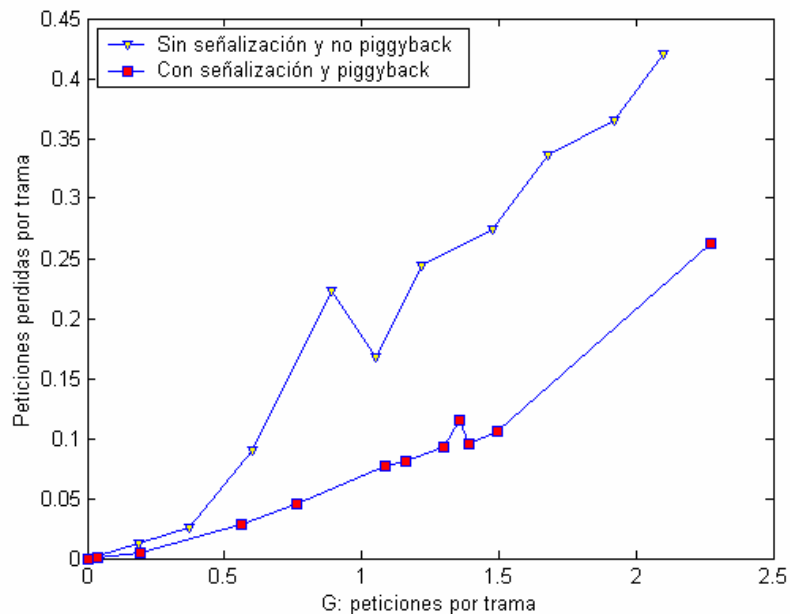


Figura 34. Peticiones perdidas contra tráfico ofrecido

La reducción de las pérdidas con respecto a los resultados mostrados en la gráfica de [Ayala Hernández, 2000] se debe a la disminución de las colisiones provocada por la reducción del tráfico por el mecanismo piggyback implementado. De la misma forma al disminuir las peticiones que requieren los servicios sensibles al tiempo disminuyen los paquetes de petición que serán desechados por expirar en tiempo. En [Ayala Hernández, 2000] por cada conexión requerida por los servicios se debe de generar una petición aun cuando la terminal tenga ganado el recurso, con lo que en servicios sensibles al tiempo tales peticiones pueden llegar a expirar y por tanto perderse.

Podría pensarse que al disminuir las pérdidas de peticiones las retransmisiones también deben de disminuir ya que ambas se encuentran relacionadas con las colisiones de los paquetes, sin embargo en las retransmisiones entran otros factores relacionados con el mensaje de señalización, tal como se mencionó anteriormente y se mostró en la figura 34.

VII.5 PORCENTAJE DE RECEPCIÓN

La recepción de paquetes de petición en la estación base se ve afectada por las retransmisiones, colisiones y pérdidas de paquetes ocurridas en el sistema. A través de este parámetro se puede ver, desde otro punto de vista, el desempeño llevado a cabo por el propio sistema. Con esto se indica la probabilidad de capturar una petición enviada por una terminal remota en presencia de otras terminales dentro del sistema. Este porcentaje de captura también está ligado con el tráfico ofrecido, a medida que éste aumenta, la probabilidad de captura es menor, esto, sin duda no es extraño, ya que a medida que aumenta el número de peticiones circulantes en el sistema, la probabilidad de que se escoja la misma miniranura de contención por dos o mas terminales remotas aumenta, lo que trae como consecuencia el incremento en el número de colisiones y por lo tanto la disminución de la probabilidad de captura. En la figura 35, se muestra el comportamiento de la probabilidad de captura teniendo como mínimo un 88% de probabilidad de que la base capture la petición cuando se ofrece el máximo tráfico durante la operación del sistema para el sistema aquí tratado en comparación con el 76% logrado por [Ayala Hernández, 2000], este aumento se debe a la disminución de los paquetes perdidos con lo cual la probabilidad de captura aumenta.

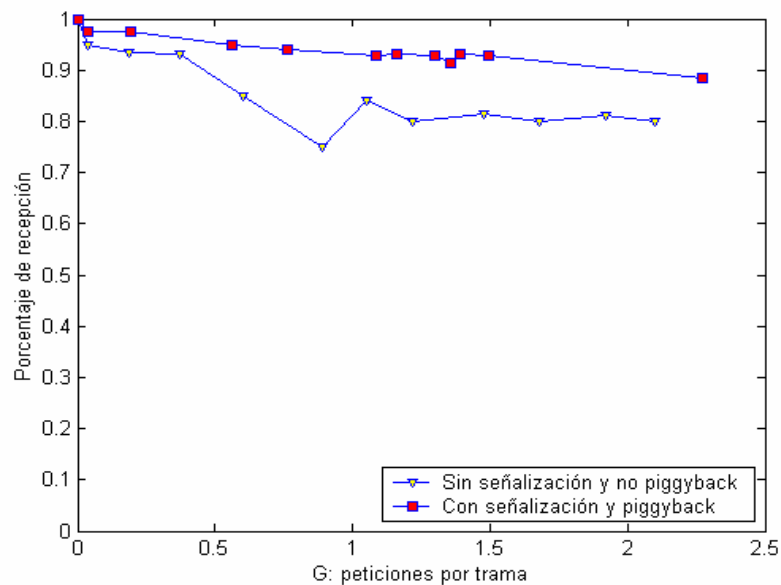


Figura 35. Probabilidad de captura

VII.6 RETARDO MEDIO

Otro de los parámetros de relevancia para determinar la eficiencia en un sistema inalámbrico es el retardo en el tiempo para la obtención del recurso. Algunos servicios permiten mayor retardo que otros. Es importante que para aquellos servicios en los cuales el CTD es un parámetro crítico, este retardo este por debajo del umbral. Este es el caso de los servicios CBR y rt-VBR. En las siguientes gráficas se observa el retardo en función del tráfico ofrecido de peticiones, para fines de análisis se muestra en la figura 36 el retardo obtenido durante la operación de la red, dividiendo los servicios en dos grupos, uno formado por los servicios sensibles al tiempo (CBR y rt-VBR) y el otro por los servicios no sensibles al tiempo (nrt-VBR, ABR y UBR). Posteriormente en la figura 37 se maneja cada servicio de manera independiente.

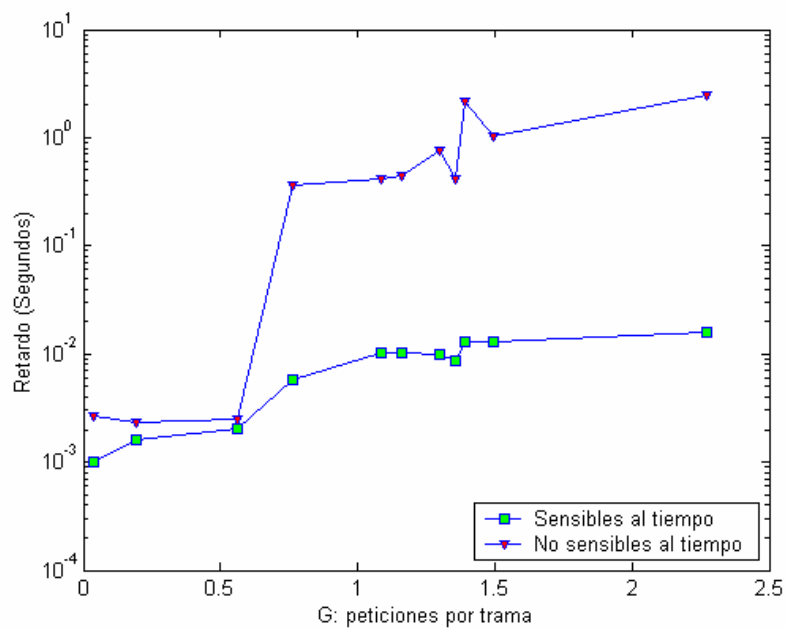


Figura 36. Retardo medio contra tráfico ofrecido por grupos

Como se observa en la gráfica de la figura 36, el retardo para los servicios sensibles al tiempo está por debajo de los 20 milisegundos cuando se presenta el máximo tráfico ofrecido, el cual es mucho menor que los 3 segundos obtenidos cuando se presenta este

mismo tráfico para servicios no sensibles al tiempo. Se puede ver entonces que se cumple que para el servicio sensible al tiempo el retardo deberá ser forzosamente menor que el retardo para el otro grupo de servicio.

Esto se ve reflejado en las gráficas de la figura 37, en donde se hace una separación por servicios. En la figura 37(a) se muestra que para CBR el retardo máximo presentado fue de 10 milisegundos cuando el tráfico ofrecido está alrededor de 1.5 peticiones por trama y para el servicio rt-VBR el retardo presentado es aproximadamente 30 milisegundos cuando se alcanza el máximo tráfico ofrecido. El aumento en el retardo de los servicios se debe al aumento del número de fuentes que generan el mismo tipo de servicio, esto para los servicios sensibles al tiempo y para los servicios no sensibles al tiempo. Para el caso de servicios no sensibles al tiempo este aumento es más abrupto ya que antes de ser atendidos deberán de ser atendidos aquellos servicios que son sensibles al tiempo y por tanto tienen mayor prioridad.

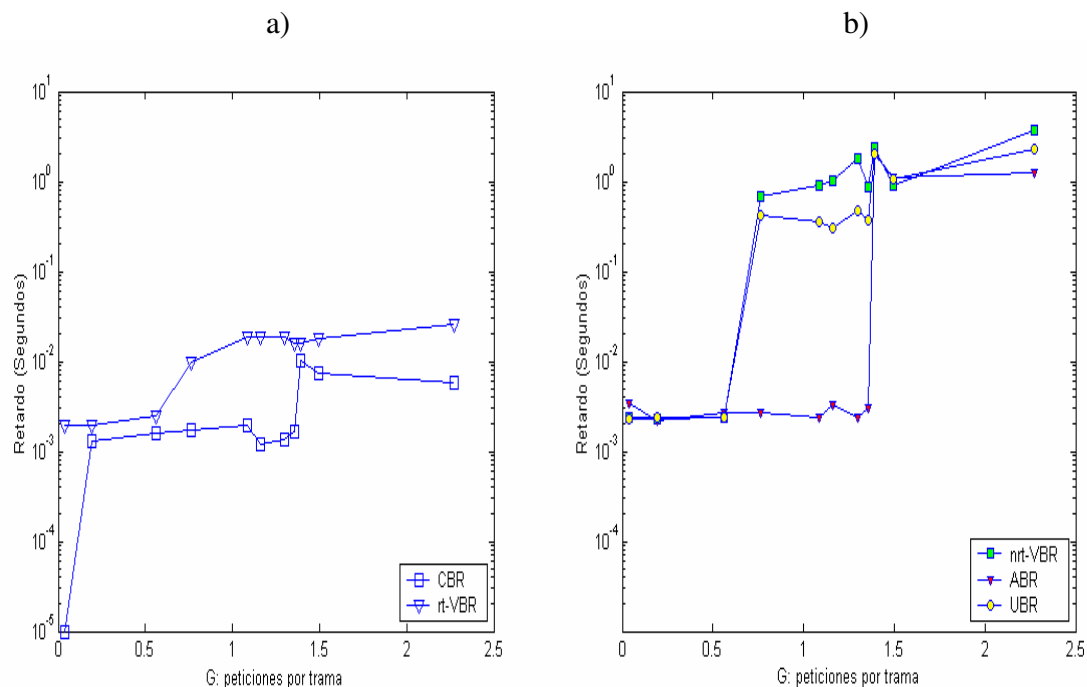


Figura 37. Retardo medio contra trafico ofrecido por tipos de servicio

En la figura 37(b) se observan los retardos presentados para los servicios nrt-VBR, ABR y UBR. Se puede ver que el retardo ofrecido por los servicios ABR y UBR es menor que para el servicio nrt-VBR, esto se debe principalmente a que estos tipos de servicio pueden ser atendidos utilizando menor número de ranuras que las requeridas a diferencia del servicio nrt-VBR que solo será atendido cuando se disponga de la cantidad de ranuras que necesita para iniciar su transmisión, esto, por la operación propia del protocolo desarrollado e implementado en el sistema, esto provoca que los servicios se empiecen a separar a tráfico mayor y ya que a mayor número de terminales es mayor el tráfico ofrecido se dispone de menor número de ranuras para ser asignadas cuando varias de las terminales están siendo atendidas. El hecho que el retardo en estos tipos de servicios sea alto (con respecto a los sensibles al tiempo) no trae consecuencias graves al desempeño del sistema, ya que se recuerda que estos tipos de servicios, nrt-VBR, ABR y UBR permiten un retardo muy grande.

VII.7 RETARDO EN EL SERVICIO

Una vez que la terminal remota obtiene el recurso y puede iniciar su transmisión, uno de los aspectos que se deberá tomar en cuenta es el retardo en sus paquetes de información. Como se ha venido reiterando, los diversos servicios necesitan diferentes requerimientos en sus conexiones. En el caso del servicio CBR, éste se caracteriza por ser un servicio isócrono, lo que implica que el retardo entre paquetes de información deberá ser siempre igual. En la gráfica de la figura 39 se puede observar este aspecto, mostrándose que el retardo de los paquetes de información del servicio CBR siempre es el mismo independientemente del tráfico ofrecido de paquetes de información. Continuando con los servicios sensibles al tiempo, el retardo para rt-VBR se encuentra dentro de los 70 milisegundos, menor a los 90 milisegundos que se establece como máximo CTD soportado por este servicio.

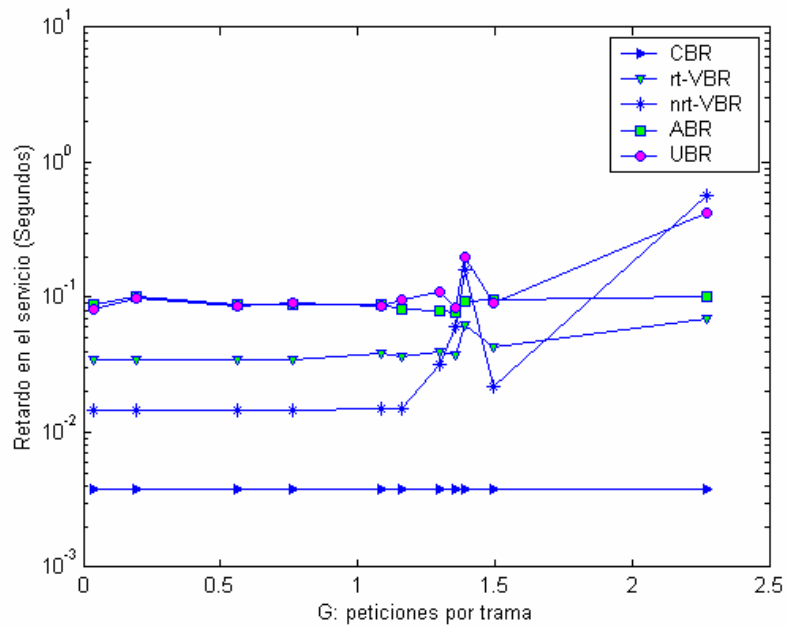


Figura 38. Retardo en el servicio contra tráfico ofrecido

En la figura 39 se muestran los resultados obtenidos en [Ayala Hernández, 2000] referentes a retardo en el servicio, pudiéndose observar que para el servicio rt-VBR el retardo presentado es menor que el presentado en la figura 38. La razón por la cual en el sistema manejado en esta tesis el retardo es mayor se debe primordialmente al mecanismo “piggyback”, ya que otros servicios de igual prioridad podrían tener ocupado al sistema con transmisiones continuas y no darle la posibilidad al servicio ya aceptado de iniciar su transmisión, sin embargo, el retardo se mantiene dentro de los intervalos permisibles los cuales son de 30-40 ms y de 40-90 ms para CBR y para rt-VBR respectivamente. Se pueden también observar diferencias entre las gráficas 38 y 39 en relación a los servicios nrt-VBR, ABR y UBR; en [Ayala Hernández, 2000] se puede apreciar que el retardo se dispara, después de un tráfico ofrecido de una petición por trama, de milisegundos a varios segundos, mientras que este trabajo se mantienen por debajo del segundo. Esta reducción en el retardo es importante a pesar de que estos servicios no son sensibles al tiempo, ya que permite dar servicio a un número mayor de usuarios, esto debido a que el sistema se desocupa más rápido.

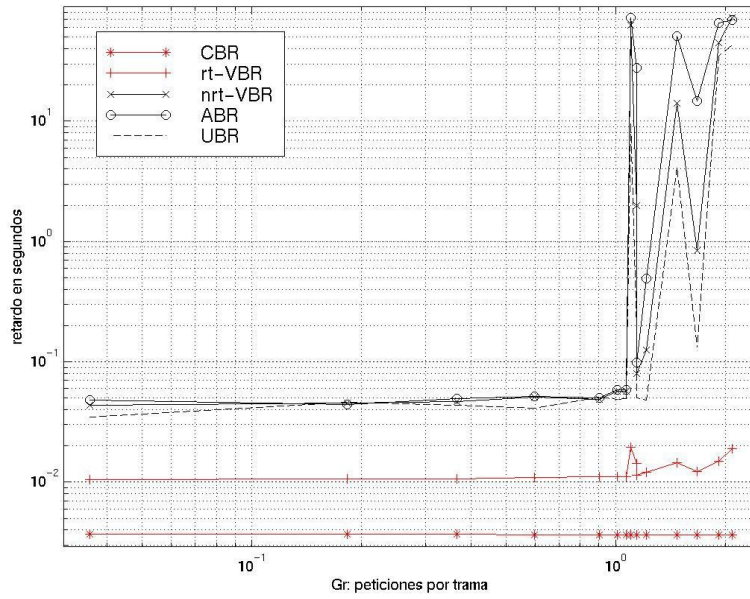


Figura 39. Retardo en el servicio contra tráfico ofrecido. Gráfica presentada en [Ayala Hernández, 2000]

CAPÍTULO VIII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VIII.1 CONCLUSIONES

La realización de este algoritmo viene a complementar el protocolo MAC para WATM que se había venido desarrollando desde mediados de 1998 en el DET (Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones) y sobre el cual existen tres trabajos de tesis antecesores.

Cabe hacer mención que en este trabajo de tesis no se pretendía mejorar el desempeño del sistema a través de la implementación de la señalización, mediante la difusión de un mensaje, sino lograr con esto hacer al protocolo más real, con la finalidad de evaluar al mismo sistema obteniendo resultados más confiables que cuando se omitía el control por parte de la estación base a través de este mensaje.

Con los resultados obtenidos se puede asumir que la adopción de este esquema TDMA/TDD como protocolo MAC, es una alternativa viable para los sistemas de comunicación inalámbricos. Con la adición de la señalización, como un parámetro mas en el protocolo, fuera de perjudicar a los resultados antes logrados sin la presencia de ésta, viene a confirmar lo que al inicio de este párrafo se asevera.

Con el empleo del esquema TDMA/TDD en el control del acceso, la red WATM ofrece los mismos compromisos de calidad de servicio que ATM, manteniendo dentro de los intervalos de retardo permitidos a los servicios sensibles al tiempo, lográndose para CBR un retardo máximo de 10 milisegundos y para rt-VBR de aproximadamente 30 milisegundos para el establecimiento de la conexión y una vez establecida la conexión se logró para CBR un retardo constante menor a los 40 milisegundos y para rt-VBR un retardo máximo de 70 milisegundos con el máximo tráfico ofrecido bajo las condiciones presentadas.

Un mecanismo implementado dentro del protocolo analizado que hizo aumentar la eficiencia en la operación del sistema, fue el “piggyback” o acarreo dentro de las terminales remotas. Es importante mencionar que éste no forma parte del objetivo general de este trabajo de tesis, sin embargo se procedió a emplear con las expectativas de mejorar el uso del canal, ya que se esperaba disminuir con ello la necesidad de contención de las terminales remotas cuando estas ya tenían el recurso asignado y requerían utilizarlo para una nueva conexión. Con la implementación de este mecanismo se redujo el número de peticiones perdidas lo que conlleva a incrementar el porcentaje de recepción del sistema. El hecho de tener un porcentaje de recepción mayor implica que ocurren menos colisiones en el sistema y menos retransmisiones.

De igual manera se puede asegurar que la implementación de este mecanismo fue lo que llevó a la disminución del tiempo de retardo que el sistema presentó para los diferentes tipos de servicios.

Sin duda alguna el acceso al medio forma un papel fundamental en el desempeño de todo sistema de comunicación, en donde se ven involucrados múltiples usuarios, tratando de obtener el medio de transmisión. El estudio y análisis de las diferentes propuestas de protocolos MAC es un trabajo arduo y poco sencillo.

VIII.2 RECOMENDACIONES

Es importante continuar en la búsqueda del protocolo MAC adecuado, el cual opere de manera eficiente bajo cualquier adversidad, ofreciendo las mejores prestaciones, por lo cual es imperativo que se continúen analizando y evaluando otros protocolos con la finalidad de comparación. Para poder así y de manera acertada asegurar la eficiencia y viabilidad del protocolo MAC propuesto en este trabajo de tesis.

Sería muy interesante que este protocolo no se quedara sólo como una propuesta desarrollada y analizada en papel, sino que se pudiera implementar físicamente, esto sería muy beneficioso, ya que se convertiría en una herramienta educativa para los estudiantes del área de telecomunicaciones del DET, con la cual se podría experimentar y adquirir conocimientos que difícilmente se logran con los libros de texto.

VIII.3 TRABAJOS FUTUROS

Desarrollar el mecanismo de control de potencia con la finalidad de implementar en el modelo la movilidad en las terminales remotas; una vez que las terminales fueran móviles se podría analizar otros tipos de desvanecimientos, los cuales no se presentan debido a la posición fija de las terminales.

De la misma forma se puede desarrollar el algoritmo de traspaso de célula (handover) al momento de aplicarle movilidad al sistema.

Investigar y desarrollar protocolos MAC con esquemas relacionados con CDMA con la finalidad de compararlos contra el propuesto en este trabajo de tesis.

REFERENCIAS

Andrikopoulos I., Liakopoulos A., Pavlou G., y SUN Z. 2000. "Providing Rate Guarantees for Internet Application Traffic Across ATM Networks". IEICE Trans. Commun. E83-B(2):123-124 p.

Ayala Hernández Felipe de J.. 2000. Tesis de maestría "Asignación dinámica de canales de acceso aleatorio (ALOHA ranurado) para una red ATM inalámbrica". CICESE.

Chen L., Yoshida S., Murata H. y Hirese S. 1998. " A Dynamic Timeslot Assignment Algorithm for Asymmetric Traffic in Multimedia TDMA/TDD Mobile Radio". IEICE Trans. Fundamentals. E81-A(7):1358-1366 p.

De la Fuente Tovar J. G. 1999. Tesis de maestría "Protocolo de Acceso al medio (MAC) para una red ATM inalámbrica". CICESE.

Flores Troncoso Jorge. 2000. Tesis de maestría "Algoritmo de Retransmisión basado en prioridad de potencia para una red ATM inalámbrica". CICESE.

Hang TSE C., Bensaou B., y Chiang CHUA k.. 2000. "Efficient Distributed Scheduling Architecture for Wireless ATM Networks". IEICE Trans. Commun. E83-B(2):339-349 p.

HUANG H., TSANG D., SIGLE R. y KÜHN Paul J. 2000. "Hierarchical Scheduling with Adaptive Weights for W-ATM," IEICE Trans. Commun. E83-B(2):313-320 p.

Mikkonen Jouni. "Wireless ATM overview".

Mikkonen Jouni y Nenonen Liina. 1998. "Wireless ATM MAC performance evaluation, a case study: HIPERLAN type 1 vs. modified MDR". Mobile Networks and Applications 3 :247-259 p.

Parsons J. D., Gardiner J.G.. 1989. Mobile Communication Systems. Halsted Press. 292 pp.

Pavlidis I. E., Marias I. E., Pronios N. B. "Managing A Wireless ATM Network".

Rappaport Theodore S. 1996. Wireless Communications principles & practice. Prentice Hall. New Jersey. 641 pp.

Rokitansky C.H., Hussman H. 1993. "Mobile Broadband System (MBS) – System Architecture".

Sánchez Jaime, Martinez Ralph, Marcellin Michael W. 1997. "A survey of MAC protocols proposed for Wireless ATM". IEEE Network. 11(6): 52-62 p.

Sánchez Jaime y Smith Daniel. 1999. "Capture effect in Rician Fading Channels with application to Slotted ALOHA". IEEE Globecom Telecommunication Conference. 5:2390-2394 p.

Søbirk D., Karlsson J. M. "An Overview of Proposed MAC Algorithms for Wireless ATM".

Takahashi T. "IEICE/IEEE Joint Special Issue on Recent Progress in ATM Technologies". 2000. IEICE Trans. Commun. E83-B(2):125-128 p.

Webb W., Hanzo L. 1994. Modern Quadrature Amplitude Modulation. Pentech Press. 557 pp.

Yamamoto M., Machida S., y Ikeda H. 1998. "Access Control Scheme for Multimedia ATM Wireless Local Area Networks". IEICE Trans. Commun. E81-B(11):2048-2055 p.

Fenómenos en la propagación

La propagación en los canales de banda estrecha puede ser dividida en tres fenómenos, los cuales son:

1. Pérdida por trayectoria de la propagación.
2. Desvanecimiento lento (desvanecimiento a gran escala).
3. Desvanecimiento rápido (desvanecimiento a pequeña escala).

Todos ellos varían con la frecuencia de propagación, con la naturaleza de los objetos circunvecinos, con la velocidad de desplazamiento, etc. Por consiguiente, no es posible un tratamiento determinístico, por lo que en su lugar son empleados métodos estadísticos. El cálculo del presupuesto de potencia para un enlace de radio considera la ley de pérdida por trayectoria de la propagación, y los márgenes de desvanecimiento lento y de desvanecimiento rápido, los cuales son mostrados a través de la figura 40.

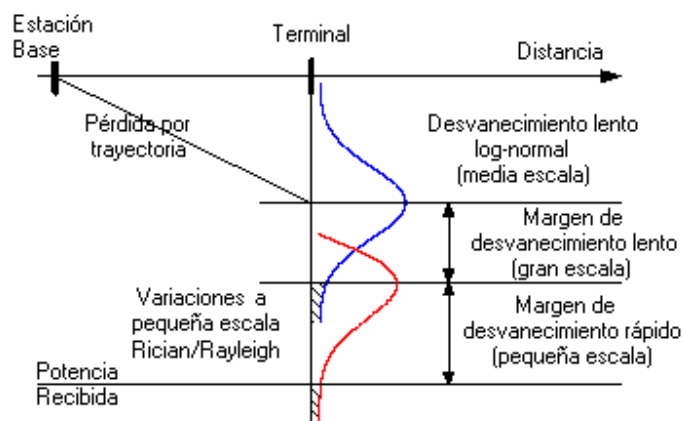


Figura 40. Pérdida por trayectoria, desvanecimiento lento y desvanecimiento rápido

La predicción de potencia media de la señal recibida juega un papel crucial en la planeación del área de cobertura de una estación base específica y en la determinación de la cercanía aceptable para el empleo del reuso de frecuencias. Para grandes células rurales y elevaciones grandes en las antenas se espera un decremento en potencia exponencial mucho más pequeño en comparación con áreas urbanas densamente pobladas y antenas de elevación menor.

Pérdida por trayectoria de la propagación

Cuando se considera la pérdida por trayectoria, el primer parámetro a considerar es normalmente la distancia a partir de la estación base. La pérdida por trayectoria se incrementa con la distancia debido al aumento circular del área de expansión de la onda. Los cálculos de la pérdida por trayectoria se vuelven significativamente más complejos cuando existe alguna forma de obstrucción entre el transmisor y el receptor. En células grandes estas obstrucciones son causadas por colinas u ondulaciones en el terreno. Lo mismo ocurre para el modelado en áreas urbanas, en donde la complejidad aumenta ya que es imposible modelar cada edificio.

A través de una aproximación probabilística es muy difícil establecer el peor de los casos en la pérdida por trayectoria para cualquier canal móvil. Sin embargo, es posible especificar el escenario más optimista. Esto puede ser dado por la propagación en el espacio libre, en donde la pérdida por propagación en el espacio libre está dado por la ecuación 4.

$$L_{pl} = 10\log_{10} G_T + 10\log_{10} G_R - 20\log_{10} f - 20\log_{10} d + 147.6dB \quad (4)$$

en donde G_T y G_R son la ganancia de antena del transmisor y del receptor, respectivamente, f es la frecuencia de propagación en MHz y d es la distancia hacia la antena de la estación base en Km. Se puede observar que la pérdida por trayectoria en espacio libre se incrementa en 6 dB cada vez que la frecuencia de propagación o la distancia del móvil se duplica. Claramente se ve que no solo por dificultades tecnológicas sino también por

pérdidas en la propagación el empleo de altas frecuencias es poco alentador. Sin embargo, el espectro normalmente sólo está disponible en las bandas de alta frecuencia.

Desvanecimiento lento

El desvanecimiento lento, también conocido como desvanecimiento a gran escala, representa la pérdida en la potencia promedio de la señal cuando se incrementa la distancia. La fórmula comúnmente utilizada para describir el efecto de desvanecimiento lento es expresada en la ecuación siguiente:

$$PL(d) \sim \left(\frac{d}{d_0} \right)^\alpha \quad (5)$$

donde α es el factor de pérdida por trayectoria, d_0 es la distancia de referencia (típicamente $d_0 = 1$ m) y d es la distancia entre las antenas transmisora y receptora. El factor de pérdida indica que tan rápido la potencia de la señal decae en función de la distancia. En escala logarítmica, la ecuación 5 se transforma a:

$$PL_{[dB]}(d) = PL_{[dB]}(d_0) + 10\alpha \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (6)$$

con una distancia de referencia d_0 . El efecto del desvanecimiento a gran escala o lento es modelado entonces como una relación lineal entre la potencia de la señal recibida y la distancia.

Desvanecimiento rápido

El desvanecimiento rápido o desvanecimiento a pequeña escala ocurre sobre distancias muy pequeñas, usualmente en el orden de una longitud de onda. Pequeños desplazamientos de la

antena lleva a cambios drásticos en la recepción de la señal producido por la propagación multitrayectoria.

Desvanecimiento Rician

Cuando la señal recibida está compuesta de múltiples rayos mas una componente en línea de vista significativa (no desvanecida), la amplitud envolvente producida por el desvanecimiento a pequeña escala tiene una función de distribución de probabilidad (pdf) Rician:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}(r^2 + A^2)\right] I_0\left(\frac{Ar}{\sigma^2}\right) & \text{para } r \geq 0 \\ 0 & \text{otro valor} \end{cases} \quad (7)$$

donde r es la amplitud envolvente de la señal recibida, A es la amplitud de la componente dominante, I_0 es la función modificada de Bessel de orden cero y σ^2 es la potencia media de la señal multitrayectoria.

Desvanecimiento Rayleigh

La componente desvanecida Rayleigh es nombrada algunas veces componente aleatoria, componente dispersa o componente difusa. La pdf Rayleigh resulta del hecho de no tener una componente dominante de la señal, lo cual representa el peor de los casos de desvanecimiento de la potencia media de la señal recibida, y está dada por:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right] & \text{para } r \geq 0 \\ 0 & \text{otro valor} \end{cases} \quad (8)$$

APÉNDICE B

Protocolos de acceso aleatorio

ALOHA

La idea básica de ALOHA es simple: Dejar transmitir a los usuarios cuando tengan información para enviar [Tanenbaum A., 1996]. Habrá colisiones, por supuesto, y los paquetes colisionados serán destruidos. Por otra parte, debido a la propiedad de retroalimentación de la difusión “broadcasting”, un transmisor puede siempre saber si su paquete fue destruido a través de escuchar el canal, de la misma forma que los demás transmisores. Si el paquete fue destruido, el transmisor espera un tiempo aleatorio y lo envía de nuevo. Este tiempo de espera debe ser aleatorio o el paquete estaría colisionando una y otra vez en cada intento.

Una de las interrogantes más importante de cualquier protocolo de acceso es sin duda alguna, la eficiencia del uso del canal. Sea “el tiempo de paquete” denotado como la cantidad de tiempo necesario para transmitir el paquete estándar de longitud fija (esto es, la longitud del paquete dividido por la tasa de bit). Se asume que la población infinita de usuarios genera nuevos paquetes de acuerdo a una distribución Poisson con media S paquetes por tiempo de paquete. Si $S > 1$, los usuarios generan paquetes a una razón mucho mayor que la que el canal puede manejar. Para un throughput (caudal eficaz) razonable se espera $0 < S < 1$.

Aparte de los nuevos paquetes, las estaciones generarán también retransmisiones de paquetes que sufrieron colisiones. Entonces, asumamos que la probabilidad de k intentos de transmisión de paquetes nuevos y viejos (colisionados) combinados, sigue también una distribución Poisson, con media G por tiempo de paquete. A carga baja (esto es, $S \approx 0$),

habrá pocas colisiones, por lo consecuente pocas retransmisiones, $G \approx S$. A gran carga, habrá muchas colisiones, por lo tanto $G > S$. Bajo cualquier carga, el throughput es igual a la carga ofrecida (G) por la probabilidad de una retransmisión exitosa, esto es, $S = GP_0$, donde P_0 es la probabilidad de que un paquete no sufra colisión.

La probabilidad que k paquetes sean generados durante un tiempo de paquete dado está dado por la distribución Poisson:

$$\Pr[k] = \frac{G^k e^{-G}}{k!} \quad (9)$$

La probabilidad de que inicie otra transmisión durante el periodo de vulnerabilidad (periodo donde puede ocurrir colisión) está dado por $P_0 = e^{-2G}$. Utilizando $S = GP_0$ llegamos a la ecuación del throughput :

$$S = Ge^{-2G} \quad (10)$$

S-ALOHA

En 1972, Roberts publica un método para duplicar la capacidad de ALOHA. Esta propuesta divide el tiempo en intervalos discretos (ranuras), cada intervalo discreto corresponde a un paquete, por lo que se debe considerar límites de las ranuras. Una manera de llevar la sincronización es el tener una estación especial que emita una señal al inicio de cada intervalo, como un reloj.

En este método conocido como S-ALOHA (Slotted ALOHA) a diferencia de ALOHA puro a los usuarios no se les permite transmitir en cualquier tiempo, sino que se debe esperar por el inicio de la siguiente ranura. La probabilidad de que no inicie otra transmisión durante la misma ranura está dada por: e^{-G} , lo cual nos lleva a:

$$S = Ge^{-G} \quad (11)$$

En la figura 41 se muestra la gráfica del throughput de ALOHA y S-ALOHA.

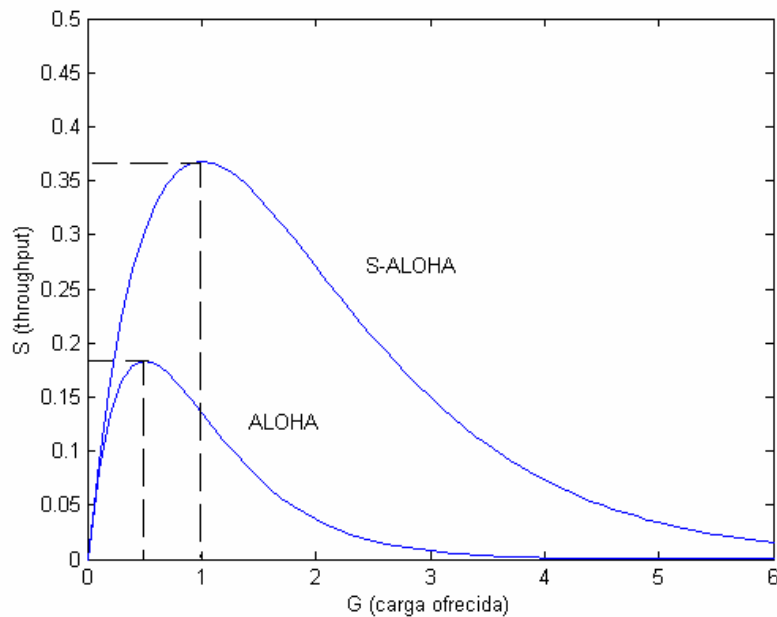


Figura 41. Throughput de ALOHA y de S-ALOHA

ALOHA ranurado es el método de acceso aleatorio más popular para el procedimiento de petición (por las terminales remotas) en los sistemas TDMA [Sánchez J. y Smith D., 1997].

S-ALOHA con efecto de captura en un canal Rician

En [Sánchez J. y Smith D., 1999] se realiza un estudio del efecto captura para S-ALOHA en un canal con desvanecimiento Rician para una picocélula estableciendo lo siguiente:

De acuerdo al procedimiento seguido por Zorzi, considerando un paquete de prueba t transmitido en presencia de n paquetes interferentes, la condición para captura está dada por:

$$p_t > z \sum_{j=1}^n p_j \quad \text{o} \quad \sum_{j=1}^n p_j < \frac{p_t}{z} \quad (12)$$

donde p_t representa la potencia del paquete de prueba, p_j representa la potencia de los paquetes interferentes y z es el umbral de captura.

La PDF (Función de distribución de probabilidad) puede ser establecida como:

$$F_n\left(\frac{p_t}{z}\right) = 1 - e^{-nK} e^{-\frac{A_{p_t}}{z}} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(nK)^i}{i!} \sum_{k=0}^{n-1+i} \frac{(A_{p_t}/z)^k}{k!} \quad (13)$$

y la probabilidad de captura (C_m) es:

$$C_m = m \int_0^{\infty} f_{p_t}(p_t) \cdot \Pr\left[\sum_{j=1}^n p_j < \frac{p_t}{z}\right] d_{p_t} \quad (14)$$

donde m es el numero de interferentes mas 1, f_{p_t} es la función de densidad de probabilidad de la potencia instantánea recibida.

En S-ALOHA la probabilidad de que un paquete de prueba (T_p) sea traslapado por n diferentes paquetes puede ser expresado como:

$$\Pr(T_p O/n) = \frac{G^n}{n!} e^{-G} \quad \text{donde } G = \lambda \tau \quad (15)$$

con τ = duración de ranura (en segundos), y λ = tasa media de generación (paquete/segundo).

La probabilidad de que un paquete de prueba sea captado por el receptor en una ranura de tiempo está dada por la ecuación:

$$P(\text{cap}/z) = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \Pr(T_p O/n) \cdot \Pr\left(\sum_{j=1}^n p_j < \frac{p_t}{z}\right) \quad (16)$$

El throughput está dado por:

$$S = G \cdot P(\text{cap}/z) = G \left\{ 1 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{G^n}{n!} e^{-G} F_n\left(\frac{p_t}{z}\right) \right\} \quad (17)$$

Finalmente se tiene que:

$$S = G \cdot \left\{ e^{-G} \left[1 + e^{-\frac{A p_t}{z}} \sum_{n=0}^{\infty} e^{-nK} \frac{G^n}{n!} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(nK)^i}{i!} \sum_{k=0}^{n-1+i} \frac{(A p_t / z)^k}{k!} \right] \right\} \quad (18)$$

con $K = p_d / \sigma^2$ que es la razón entre la componente directa y la componentes de potencia dispersa. Y $A = 1/\sigma^2$. En donde A es la amplitud de la componente directa. Graficando la ecuación 18 se llega a la figura 42.

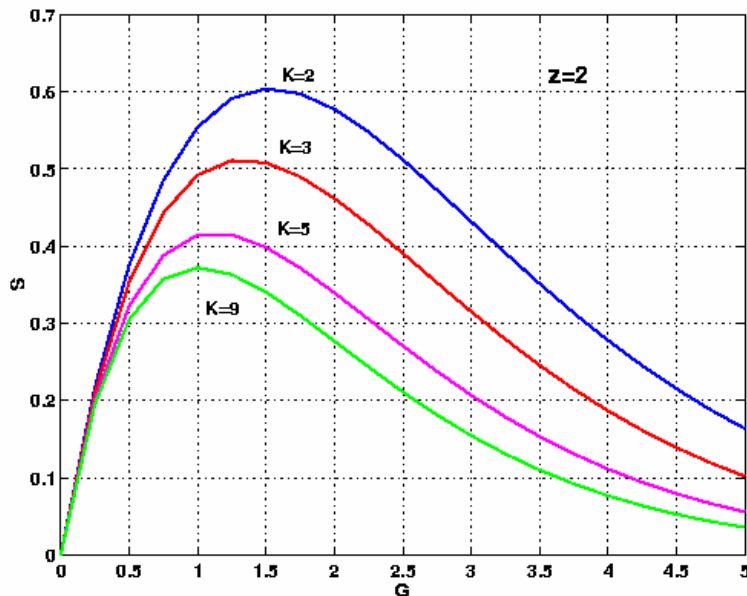


Figura 42. Throughput para S-ALOHA para un umbral $z=2$ y un factor de Rician $K=2,4,6$ y 8

ACRÓNIMOS

ABR	Available Bit Rate
ACK	Acknowledge
ADICACTM	Asignación dinámica de canales de acceso con aumento de miniranuras dependiente del tráfico ofrecido con umbral movible
APP	Algoritmo de retransmisión por prioridad de potencia
ASK	Amplitude Shift Keying
ATDD	Adaptive Time Division Duplex
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BCPN	Business Customer Premises Network
BER	Bit Error Rate
B-ISDN	Broadband-Integrated Services Digital Network
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CAC	Call Admission Control
CBR	Constant Bit Rate
CDMA	Code Division Multiple Access
CDPD	Cellular Digital Packet Data
CLR	Cell Loss Rate
CRC	Cyclic Redundancy Check
CTD	Cell Transfer Delay
DA	Dynamic Allocation
DCPN	Domestic Customer Premises Network
DECT	Digital Enhanced Cellular Telephone
DQRUMA	Distributed-Queuing Request Updated Multiple Access
DSA	Dynamic Slot Assignment
DTDMA	Dynamic Time Division Multiple Access
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
FSK	Frequency Shift Keying
FSM	Finite State Machine
GT	Guard Time
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GSM	Global System for Mobile communications
HIPERLAN	High Performance Radio Local Area Network
IMT	International Mobile Telecommunications
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISI	Intersymbol Interference
ITU	International Telecommunications Union
LAN	Local Area Network
LOS	Line of Sight
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MASCARA	Mobile Access Scheme based on Contention and Reservation for ATM

MCPN	Mobile Customer Premises Network
MCR	Minimum Cell Rate
MPEG	Moving Picture Experts Group
MSK	Minimum Shift Keying
Ndl	Number of downlink slots
nrt-VBR	No Real Time-Variable Bit Rate
NT	Number of transmissions
Nul	Number of uplink slots
OPNET	Optimized Network Engineering Tool
PCR	Peak Cell Rate
PN	Public Network
PR	Piggybacked Reservation
PRMA	Packet Reservation Multiple Access
PSK	Phase Shift Keying
QoS	Quality of Service
QPSK	Quaternary Phase Shift Keying
RF	Radio Frequency
RQI	Request Information
RS	Redd Solomon
rt-VBR	Real Time-Variable Bit Rate
Rx	Receptor
S-ALOHA	Slotted ALOHA
SCR	Sustainable Cell Rate
SNR	Signal Noise Rate
SS	Spread Spectrum
SYN	Synchronization
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TDD	Time Division Duplexing
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
Tx	Transmisor
UBR	Unspecific Bit Rate
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
WAN	Wide Area Network
WATM	Wireless Asynchronous Transfer Mode
WVCI	Wireless Virtual Channel Identifier