

# **Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada**

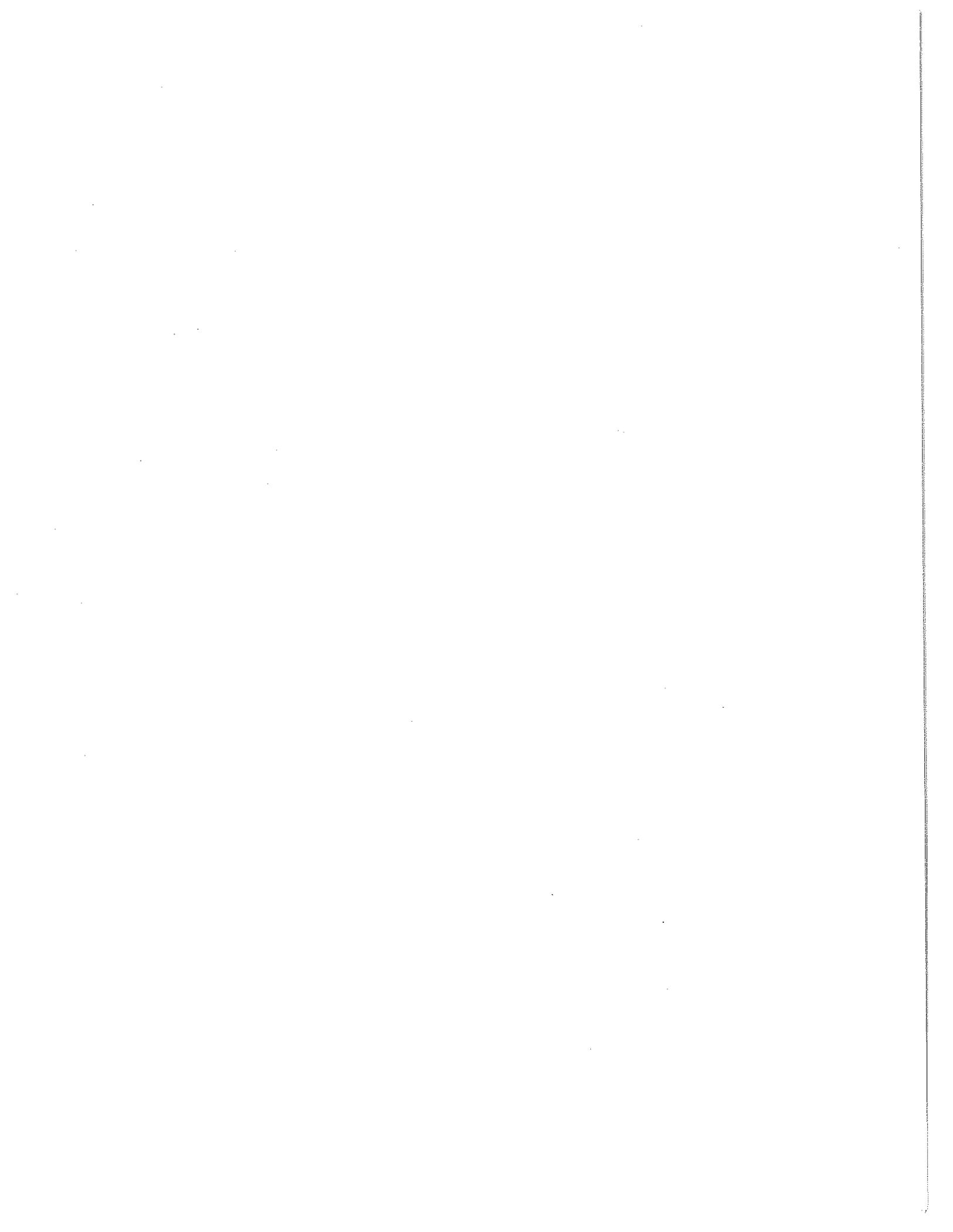


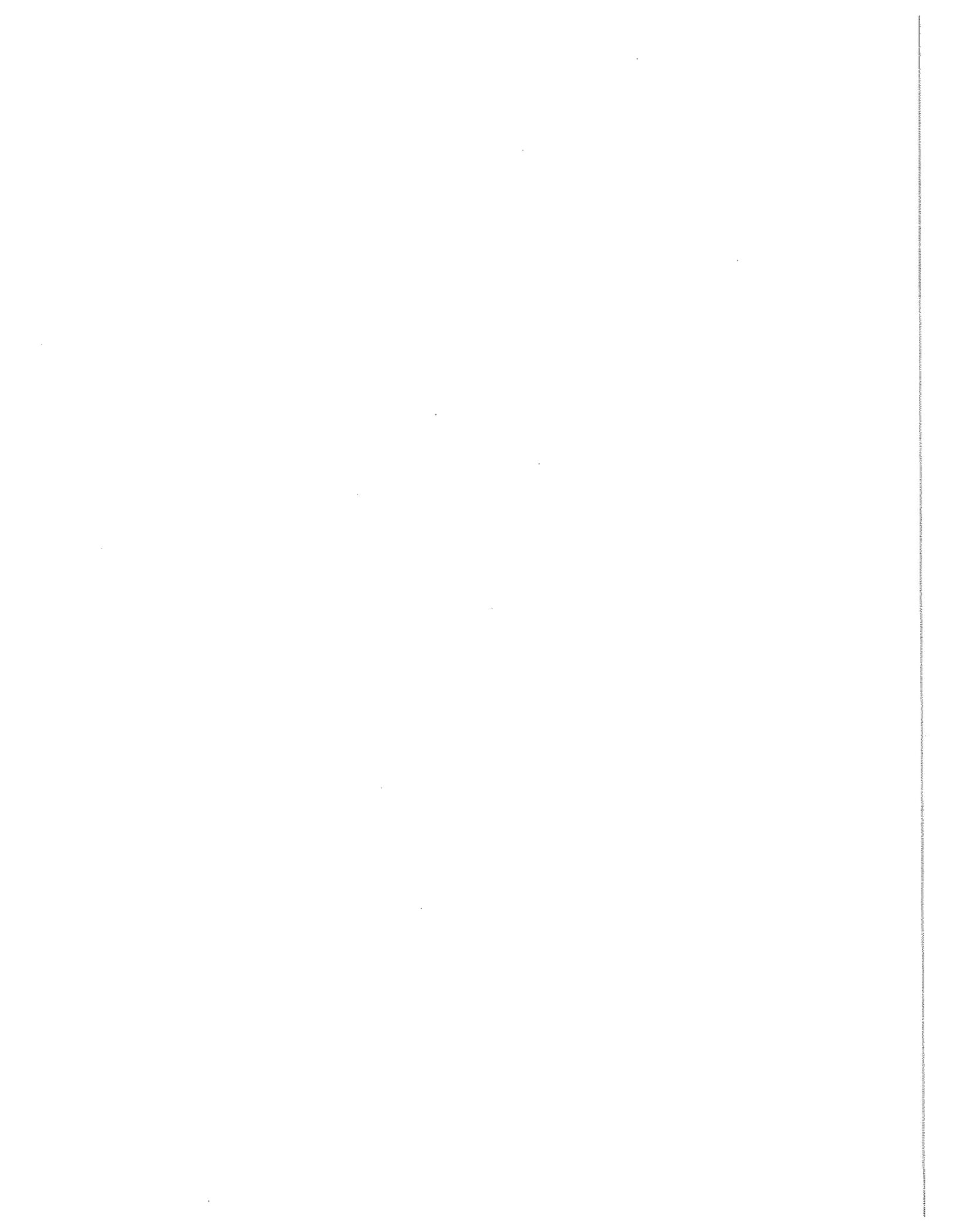
**ASIGNACION DINAMICA DE CANALES DE ACCESO  
ALEATORIO (ALOHA RANURADO) PARA UNA  
RED ATM INALAMBRICA**

**TESIS  
MAESTRIA EN CIENCIAS**

**FELIPE DE JESUS AYALA HERNANDEZ**

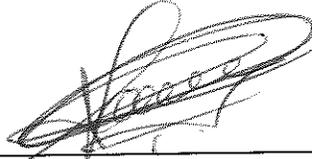
**ENSENADA, B. C., JULIO DEL 2000.**





TESIS DEFENDIDA POR  
**FELIPE DE JESÚS AYALA HERNÁNDEZ**

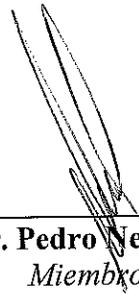
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ



**M.C. Jaime Sánchez García**  
*Director del Comité*



**Dr. David H. Covarrubias Rosales**  
*Miembro del Comité*



**Dr. Pedro Negrete Regagnon**  
*Miembro del Comité*



**M.C. Raúl Tamayo Fernández**  
*Miembro del Comité*



**Dr. José Luis Medina Monroy**  
*Jefe del Departamento de Electrónica  
y Telecomunicaciones*



**Dr. Federico Graef Ziehl**  
*Director de Estudios de Posgrado*

7 de julio del 2000

Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada



División de Física Aplicada  
Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones

***Asignación Dinámica de Canales de Acceso Aleatorio  
(ALOHA Ranurado) para una red ATM Inalámbrica***

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias presenta

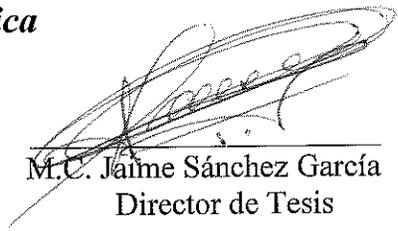
**Felipe de Jesús Ayala Hernández**

Ensenada, Baja California, México. Julio del 2000

**Resumen** de la Tesis de **Felipe de Jesús Ayala Hernández** presentada como requisito parcial para obtener el grado de **Maestro en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones**, Ensenada, Baja California, México. Julio del 2000.

***Asignación Dinámica de Canales de Acceso Aleatorio (ALOHA ranurado)  
para una red ATM Inalámbrica***

Resumen aprobado por:



M.C. Jaime Sánchez García  
Director de Tesis

La demanda creciente en los servicios y aplicaciones multimedios como el audio, datos y video desde terminales portátiles, ha desencadenado una buena cantidad de propuestas sobre sistemas que puedan ofrecer, de forma adecuada, estos servicios a los usuarios; manteniendo una eficiencia razonable del sistema, debido a que los recursos del espectro radioeléctrico son limitados. La propuesta de utilizar el modo de transferencia asíncrono inalámbrico (WATM) como plataforma general de la siguiente generación de servicios de comunicación móvil, tiene como objetivo aprovechar las ventajas del ATM, tales como la transparencia y transmisión de todo tipo de información a través del mismo medio, y la selección de esta tecnología como el método de transporte de información de la red digital de servicios integrados de banda ancha (BISDN). El ATM inalámbrico requiere entonces esquemas de acceso (MAC) adecuados, que permitan a los usuarios compartir el medio de comunicación de la mejor manera posible. Para esto se recomienda emplear esquemas de multicanalización por división de tiempo (TDMA/TDD), ya que presentan mejores ventajas cuando el ancho de banda es limitado.

En este trabajo se toma como referencia una propuesta de protocolo MAC basado en prioridad por potencia y se presenta una alternativa de solución para resolver las colisiones en la etapa de acceso al sistema, disminuyendo con ello, las retransmisiones de las solicitudes de servicio. Esta alternativa consiste en la asignación dinámica de canales de acceso aleatorio, que se realiza de acuerdo a las condiciones de tráfico ofrecido que prevalezcan en el sistema, adaptándolo a éstas condiciones. Por medio del aumento de 3 a 7 mini ranuras en el periodo de contienda, se logra mejorar el desempeño del sistema WATM manteniendo una probabilidad de recepción de peticiones y calidad de servicio adecuadas, cuando el sistema maneja una gran cantidad de tráfico ofrecido. Se analiza también la asignación dinámica del umbral entre subtramas del esquema TDMA/TDD para mejorar el aprovechamiento de los recursos del canal radio, debido principalmente a la naturaleza asimétrica de los enlaces ascendente y descendente, otorgando mayor cantidad de ranuras de tiempo al enlace que así lo requiera, manteniendo un balance de las ranuras libres en las subtramas. Esto permite mantener una ocupación mayor de ranuras de tiempo cuando anteriormente estas ranuras permanecían inutilizadas.

Palabras clave: WATM, MAC, TDMA/TDD, asignación dinámica de canales de acceso.

**Abstract** of the Thesis of **Felipe de Jesús Ayala Hernández** presented as a partial requirement to obtain the **Master in Sciences degree in Electronics and Telecommunications**, Ensenada, Baja California, México. July 2000.

### ***Dynamic Assignment of Random Access Channels (Slotted ALOHA) for a Wireless ATM Network***

The increasing demand in applications and multimedia services such as audio, data and video from portable equipment, has brought a lot of proposals about systems that can provide these services maintaining reasonable efficiency of the channel, since the spectrum resources are limited. The proposal to use the wireless asynchronous transfer mode (WATM) as a general platform for the next generation mobile communications services, has the goal of taking advantage of the ATM technology characteristics, such as transparency in the transmission of all kind information over the same medium and QoS guarantees. Furthermore ATM has been chosen as a carrier platform for the broadband integrated services digital network (BISDN). The wireless ATM then requires adapted medium access control schemes (MAC), that offer to the users the ability to share the communication medium in the better possible way. To meet this goal it is recommended to employ time division multiple access schemes (TDMA/TDD) because this scheme present better advantages when the frequency spectrum is limited.

In this work, where a MAC protocol with a power priorities retransmission algorithm was taken as reference an alternative solution to alleviate the collision in the random access stage is presented, which affects the service request retransmissions. This alternative consists in the dynamic assignment of random access channels, that it is made according to the offered traffic conditions that prevail in the system. By means of the increase from 3 to 7 minislots for the contention time, an improvement in the performance of the WATM system is obtained maintaining a good packet request reception probability and a proper quality of service, under high offered traffic conditions. The dynamic assignment of the threshold between subframes of TDMA/TDD scheme is also analyzed in order to improve the use of radio channel resources, mainly because the uplink and downlink traffic have an asymmetric nature, granting greater amount of time slots to the link that need them more, maintaining a balance between the free slots in the subframes. This allows to maintain a greater occupation of time slots, while these slots remained unusable in the previous protocol.

**Keywords:** WATM, MAC, TDMA/TDD, dynamic assignment of access channels.

*A los pequeños*

*Luis Eduardo, Cynthia Gisela, José Abraham, Montserrat, Kevin Darío,  
Edgar Alejandro, Frida y Fátima*

## **Agradecimientos**

A **Dios**, por darme la oportunidad de concluir otra de mis metas. Guía siempre mi camino Señor.

A mis Padres, **Alejandro y Josefina**, por su confianza, por su cariño, por todo su invaluable apoyo incondicional.

A mis hermanas, **Ana Luisa, Verónica, Alejandra, Hilda Lucía, Cecilia y Laura Alicia**, por sus cariños, por sus sonrisas, por esos interminables momentos de motivación y de ilusiones.

A mi asesor el **M.C. Jaime Sánchez**, por su tiempo, por su amistad y sus consejos durante la realización de este trabajo. De la misma manera, agradezco la oportuna participación del **Dr. David Covarrubias**, del **Dr. Pedro Negrete** y del **M.C. Raúl Tamayo**, por sus aportaciones como miembros de mi Comité de Tesis.

Al pueblo de **México**, que a través del **CONACYT**, me ha permitido ser parte de un valioso esfuerzo.

Al Gobierno del Estado de **Colima**, por su gentil apoyo durante mi estancia en Ensenada.

A los **académicos** por los conocimientos compartidos, al personal técnico y administrativo del **CICESE**, por las facilidades prestadas para la realización de mis estudios de Maestría.

A todos mis **compañeros y amigos**, por las grandes experiencias compartidas, por ser parte de una agradable estancia en el CICESE; quiero recordarles que *las oportunidades siempre han estado ahí, solo hay que alcanzarlas.*

# Contenido

	<b>página</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b>	<b>VII</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
I.1 Introducción	1
I.2 Objetivos	3
I.3 Métodos y Materiales	4
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>ATM COMO TECNOLOGÍA EMERGENTE</b>	<b>6</b>
II.1 Telecomunicaciones	6
II.1.2 Fuentes de Información y Codificación	6
II.1.3 Redes	8
II.1.4 Conmutación	9
II.1.5 Protocolos de Comunicaciones	10
II.1.6 Modelo de Referencia OSI	11
II.2 Las Comunicaciones Emergentes	13
II.2.1 Frame Relay, Cell Relay y SONET/SDH	14
II.2.2 B-ISDN y ATM	16
II.2.4 Capas de Adaptación de ATM y soporte de video	21
II.2.5 Congestión y Calidad de Servicio (QoS) en ATM	23
II.2.6 Interconexión de redes ATM con redes existentes	23
II.2.7 Resumen	24
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>MODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONO INALÁMBRICO</b>	<b>25</b>
III.1 Comunicación Inalámbrica	25
III.2 Arquitectura, equipo y características del ATM Inalámbrico.	26

## Contenido (continuación)

	<b>página</b>
<b>III.3 Capa de Radioacceso</b>	<b>28</b>
<b>III.4 Movilidad, Control y Administración en WATM</b>	<b>31</b>
<b>III.5 Sistemas Propuestos y Prototipos</b>	<b>33</b>
<b>III.6 Algunos Protocolos MAC Propuestos</b>	<b>34</b>
III.6.1 ALOHA Ranurado	36
III.6.2 Propuestas de Protocolos MAC basados en FDD	37
III.6.3 Propuestas de Protocolos MAC basados en TDD	41
<b>III.7 Resumen</b>	<b>44</b>
 <b>CAPÍTULO V</b>	
<b>ASIGNACIÓN DINÁMICA DE CANALES DE ACCESO ALEATORIO (ALOHA RANURADO) PARA UNA RED ATM INALÁMBRICA</b>	<b>45</b>
<b>IV.1 Introducción</b>	<b>45</b>
<b>IV. 2 El Protocolo MAC TDMA/TDD</b>	<b>45</b>
<b>IV.3 Estructura del Protocolo MAC</b>	<b>46</b>
<b>IV.4 El Algoritmo modificado de Acceso Aleatorio en S-ALOHA</b>	<b>49</b>
<b>IV.5 La señalización</b>	<b>50</b>
<b>IV.6 Asignación de ranuras en la trama</b>	<b>52</b>
<b>IV.7 El enlace descendente “downlink”</b>	<b>54</b>
<b>IV.8 El algoritmo de Asignación Dinámica de Canales de Acceso (ADICA)</b>	<b>55</b>
IV.8.1 ADICA via cantidad de tramas con colisiones	56
IV.8.2 ADICA via cantidad de retransmisiones recibidas	57
IV.8.3 ADICA via cantidad de paquetes de petición recibidos	58
IV.8.4 Supervisión del aprovechamiento de los canales de acceso	58
IV.8.5 Supervisión del aprovechamiento de las ranuras de transmisión	58
IV.8.6 Desplazamiento del umbral entre los enlaces (subtrama descendente y ascendente)	59
IV.8.7 Requerimientos del Algoritmo ADICA	60
<b>IV.9 Resumen</b>	<b>61</b>

# Contenido (continuación)

**página**

## CAPÍTULO V

<b>SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>62</b>
V.1 Introducción	62
V.2 Modelo de red	63
V.3 Modelo de nodos	64
V.3.1 Nodo de Base	64
V.3.2 Nodo de usuarios móviles	65
V.4 Modelo de procesos	66
V.5 Parámetros de simulación	67
V.5.1 Caracterización del tráfico	67
V.5.2 Características del canal de radio	68
V.6 Escenarios de Simulación	68
V.6.1 Modelo WATM sin aumento de mini ranuras	68
V.6.2 Modelo WATM con asignación dinámica de mini ranuras de acceso con aumento de mini ranuras dependiente del tráfico manejado (ADICAC)	69
V.6.3 Modelo WATM con asignación dinámica de mini ranuras de acceso con aumento temporal de mini ranuras de acceso (ADICAT)	69
V.6.4 Modelo WATM con asignación dinámica de mini ranuras de acceso y desplazamiento del umbral entre subtramas (ADICACTM)	69
V.7 Análisis de resultados	70
V.7.1 Parámetros medidos en las simulaciones	70
V.7.2 Análisis de resultados	70
V.7.3 Comparación de resultados entre la asignación estática y dinámica de canales de acceso aleatorio	84
V.7.4 Análisis de la asignación dinámica de canales de acceso con asignación dinámica de umbral entre subtramas (ADICACTM)	85
V.7.5 Comparación entre la asignación estática y dinámica del umbral entre subtramas en el modelo con asignación dinámica de canales de acceso aleatorio	90
V.8 Resumen	91

# Contenido (continuación)

	<b>página</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	
<b>CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO</b>	<b>92</b>
VI.1 Conclusiones	92
VI.2 Perspectivas y Trabajo Futuro	94
<b>REFERENCIAS [1]</b>	<b>96</b>
<b>ANEXO A ACRÓNIMOS</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO B OPNET</b>	<b>101</b>
B.1 Generalidades	101
B.2 Dominio de modelado	101
B.2.1 Dominio de Red	101
B.2.2 Dominio de Nodo	101
B.2.3 Dominio de Proceso	102
B.3 Principales procedimientos del kernel en la simulación	102

# Lista de Figuras

<b>Figura</b>	<b>página</b>
1. INTEGRACIÓN DE LA TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN	7
2. DIAGRAMA A BLOQUES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN SIMPLIFICADO	7
3. MODELO DE CAPAS OSI	12
4. ESPECTRO DE LAS TÉCNICAS DE CONMUTACIÓN	15
5. CONEXIÓN FÍSICA SENCILLA DE ATM COMPARADA CON LAS CONEXIONES PARA CADA SERVICIO	17
6. MODELO DE CAPAS PARA ATM	17
7. CELDA DE ATM	18
8. FORMATO DEL ENCABEZADO DE CELDA EN LA INTERFAZ DE USUARIO DE RED (DE ACUERDO A LA RECOMENDACIÓN I.361 DE CCITT)	19
9. MODELO DE REFERENCIA PARA PROTOCOLO DE B-ISDN	20
10. CLASIFICACIÓN DEL SERVICIO PARA AAL	21
11. ARQUITECTURA DEL ATM INALÁMBRICO	27
12. INTERCONEXIÓN DE WATM Y ATM	28
13. ACTIVIDADES BÁSICAS DE LA RED WATM	32
14. ALOHA RANURADO	37
15. DIAGRAMA DE TIEMPOS DQRUMA	38
16. ESQUEMA DE SEÑALIZACIÓN DEL PROTOCOLO DSA++	40
17. ESTRUCTURA DE TRAMA DTDMA/PR	41
18. LA ESTRUCTURA DE LAS MPDU RELACIONADAS CON LAS RANURAS DE TIEMPO EN MASCARA	42
19. FORMATO DE TRAMA TDMA/TDD DINÁMICO	44
20. ESTRUCTURA DE TRAMA TDD	48
21. ESTRUCTURA DE TRAMA CON MINI RANURAS DE PETICIÓN EXTRA	49
22. EL PAQUETE DE PETICIÓN	50
23. EL MENSAJE DE DIFUSIÓN	51
24. ASIGNACIÓN DINÁMICA DE CANALES PARA ACCESO ALEATORIO	56
25. SISTEMA ATM INALÁMBRICO	63
26. DIAGRAMA DE NODOS DE LA ESTACIÓN BASE	65
27. DIAGRAMA DE NODOS EN UN USUARIO MÓVIL	65
28. MODELO DE PROCESOS EN EL NODO CONTROL DE LA BASE	66
29. COMPARACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE RECEPCIÓN EN LOS MODELOS WATM	72
30. COMPARACIÓN DE LA CANTIDAD DE PETICIONES COLISIONADAS EN LOS MODELOS WATM	73
31. COMPARACIÓN DE LAS RETRANSMISIONES RECIBIDAS POR LA ESTACIÓN BASE	74
32. COMPARACIÓN DEL CAUDAL EFICAZ EN LOS MODELOS WATM	76
33. EL SOPORTE DE USUARIOS EN LOS MODELOS WATM	77
34. COMPARACIÓN DEL RETARDO POR TIPO DE TRÁFICO EN EL MODELO SIN ALGORITMO DE ASIGNACIÓN DINÁMICA DE CANALES DE ACCESO	79
35. COMPARACIÓN DEL RETARDO POR TIPO DE SERVICIO EN EL MODELO CON ALGORITMO DE ASIGNACIÓN DINÁMICA DE CANALES CON AUMENTO DEPENDIENTE DEL TRÁFICO	79

## Lista de Figuras (continuación)

<b>Figura</b>	<b>página</b>
36. COMPARACIÓN DEL RETARDO POR TIPO DE SERVICIO EN EL MODELO CON ALGORITMO DE ASIGNACIÓN DINÁMICA DE CANALES CON AUMENTO TEMPORAL	80
37. COMPARACIÓN DEL RETARDO POR TIPO DE SERVICIO EN LOS MODELOS WATM	81
38. COMPARACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE RECEPCIÓN Y EL CAUDAL EFICAZ	82
39. COMPARACIÓN DE LA CANTIDAD DE USUARIOS Y EL CAUDAL EFICAZ	83
40. COMPARACIÓN DEL CAUDAL EFICAZ Y RETARDO EN EL SERVICIO EN EL MODELO ADICAC	84
41. COMPARACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE RECEPCIÓN	87
42. COMPARACIÓN DEL CAUDAL EFICAZ EN LOS MODELOS ADICACTM Y ADICAC	88
43. COMPARACIÓN DE RANURAS OCUPADAS	89
44. COMPARACIÓN DEL RETARDO POR TIPO DE SERVICIO EN EL MODELO CON ALGORITMO DE ASIGNACIÓN DINÁMICA DE CANALES CON ASIGNACIÓN DINÁMICA DE UMBRAL	90

# Lista de Tablas

<b>Tabla</b>	<b>página</b>
I. COMPARACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE CONMUTACIÓN.	11
II. EJEMPLO DE SERVICIOS PARA REDES ATM INALÁMBRICAS	26
III. BANDAS DE FRECUENCIA PARA REDES INALÁMBRICAS.	30
IV. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA TRAMA TDMA/TDD	52
V. CANTIDAD DE USUARIOS POR NÚMERO DE CORRIDA	64
VI. CARACTERÍSTICAS DEL TRÁFICO	67
VII. CARACTERÍSTICAS DEL CANAL DE RADIO	68
VIII. COMPARACIÓN DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS EVALUADOS EN LOS MODELOS CON ASIGNACIÓN ESTÁTICA Y DINÁMICA DE CANALES DE ACCESO ALEATORIO	85
IX. COMPARACIÓN DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS EVALUADOS EN LA ASIGNACIÓN ESTÁTICA Y DINÁMICA DEL UMBRAL ENTRE SUBTRAMAS	91

# *Asignación Dinámica de Canales de Acceso Aleatorio (ALOHA ranurado) para una red ATM inalámbrica*

## Capítulo

## Introducción

### **1.1 Introducción**

En estos días la necesidad de contar con sistemas de comunicación confiables y eficientes es una demanda generalizada. Las redes de comunicaciones independientes están convergiendo hacia la creación de una gran plataforma universal de comunicaciones en la que todos los servicios y aplicaciones sean otorgados con su respectiva demanda de recursos y anchos de banda.

Dadas las características y ventajas presentadas por el modo de transferencia asíncrono (ATM), este ha sido adoptado como la infraestructura de conmutación del futuro para las redes digitales de servicios integrados de banda ancha (B-ISDN), de la cual se espera pueda soportar cualquier tipo de tráfico y aplicación, como lo son datos, audio y video a través de un mismo medio.

Cada vez se acerca más el día en que será factible contar con los servicios de difusión en los ambientes inalámbricos, lo cual está siendo impulsado principalmente por la proliferación de las computadoras portátiles con servicios multimedia y las necesidades de acceso de comunicación inalámbrica de los usuarios.

Aunque actualmente existen varias tecnologías que pueden proveer estos servicios, tal como una tercera generación de redes celulares y LAN's inalámbricas, una red ATM inalámbrica tiene la ventaja de ofrecer capacidad multimedia de extremo a extremo debido a su naturaleza de orientación a conexión, con una calidad de servicio garantizada (QoS). Además, ATM

presenta las ventajas de la transmisión en modo paquete y de la transmisión de servicios síncronos con la conexión de circuitos virtuales.

Sin embargo, trasladar todas estas ventajas del ATM a un ambiente inalámbrico no es nada fácil, atrás quedaron los elementos que daban fiabilidad, como lo son el gran ancho de banda, la baja probabilidad de error, bajo ruido y las altas velocidades.

Por lo cual, una red ATM inalámbrica presenta aspectos muy interesantes por resolver, ya que los enlaces vía radio están inmersos en un ambiente hostil cuyas características son el ruido, la interferencia, el desvanecimiento y un ancho de banda limitado. Esto obliga a crear un protocolo de acceso al medio (MAC), tal que permita compartir el medio por los usuarios de manera adecuada, soportando los diferentes tipos de tráfico ATM como la tasa de bit constante (CBR), la tasa de bit variable de tiempo real y tiempo no real (rt-VBR y nrt-VBR), la tasa de bit disponible (ABR) y la tasa de bit no especificada (UBR) con niveles razonables de calidad de servicio (QoS), mientras el sistema mantiene una alta eficiencia razonable, optimizando el canal de radio, ya que el protocolo MAC se encuentra muy estrechamente relacionado con la capa física (PHY) adoptada.

Numerosas propuestas han sido presentadas para la implementación del MAC, las cuales incluyen a los dos métodos globales de acceso como son las de espectro esparcido (tal como el acceso múltiple por división de código, CDMA) y las de multicanalización por división de tiempo (TDMA).

Sin embargo, se sugiere utilizar las técnicas que involucren TDMA, debido a que son más atractivas para implementarse en los sistemas ATM inalámbricos cuando el espectro de radio es limitado, y presentan un mejor aprovechamiento de los recursos del medio al utilizar una sola portadora de frecuencia utilizando la canalización dual por división de tiempo (TDD). Es por esto que el presente trabajo se desarrolla bajo un esquema TDMA/TDD propuesto y llamado MAC basado en prioridad por potencia, el cual incluye al ALOHA ranurado como método de acceso aleatorio.

Debido a que el método de acceso es un aspecto clave en el desempeño del sistema, resulta entonces conveniente estudiar los aspectos relacionados con el acceso aleatorio, involucrados en el momento en que el usuario móvil solicita el servicio requerido a la estación base, con lo que se tendrían elementos suficientes para tomar el mejor criterio en el ofrecimiento de los servicios a los usuarios.

De las diferentes alternativas de solución de conflictos generados durante la etapa de acceso se estudia y analiza la asignación dinámica de canales de acceso aleatorio comparada con la asignación estática, cambiando el número predeterminado de mini ranuras de acceso ubicadas en el enlace ascendente de 3 a 7, (dentro de una trama consistente de 64 ranuras, de las cuales 32 son para el enlace descendente y las 32 restantes para el enlace ascendente), dependiendo de las condiciones de tráfico ofrecido prevalecientes en el sistema, logrando con ello mejorar el desempeño presentado por el sistema WATM.

En este trabajo se realiza la simulación del protocolo MAC basado en prioridad por potencia y se utilizan los trabajos previos realizados en el estudio y calidad de servicio (QoS) de este protocolo [de la Fuente, 1999].

## ***1.2 Objetivos***

Desarrollar y simular el algoritmo necesario para simular el protocolo MAC en un ambiente inalámbrico, tal que permita determinar el número adecuado de canales de acceso aleatorio para la solicitud de servicio de las terminales móviles a la estación base, así como el momento en que debe modificarse ese número aumentándolo de 3 a 7 minicanales o disminuyéndolo de 7 a 3, basándose en la cantidad de carga de tráfico ofrecido presentada, en el número de retransmisiones, el retardo en la transmisión de paquetes, el número de paquetes desechados o llamadas rechazadas y la presencia de colisiones.

Se contempla además estudiar los aspectos relacionados con el desplazamiento del umbral entre subtramas, con la finalidad de aprovechar de forma más eficiente los recursos del sistema, específicamente las ranuras de tiempo utilizadas por los enlaces ascendente y descendente, manteniendo en todo momento la QoS adecuada.

### **1.3 Métodos y Materiales**

Utilizando las ventajas que ofrece un paquete de simulación como el OPNET, la implementación de este algoritmo en la simulación se ve beneficiada debido a las herramientas inmersas en este *software*, tales como: especificación gráfica de los modelos, simulación dinámica con el Kernel y sus eventos programados, los análisis de datos y el modelado jerárquico orientado a objetos, las cuales permiten una amplia interacción del simulador con el usuario, dando las facilidades necesarias para la especificación detallada de los sistemas de comunicación. Este modelado proporciona una metodología de sistemas abiertos y una avanzada interfaz gráfica para el usuario (*MIL 3 user interface*).

- El acervo bibliográfico se obtuvo por medio de
  - Biblioteca CICESE
  - Unidad de Información Tecnológica IIE
  - Biblioteca del Campus Coquimatlán, Universidad de Colima
  - Internet
- Para la realización de este trabajo se utilizó la siguiente infraestructura
  - Computadora Origin2000 de Silicon Graphics (10 procesadores R10000 de 195 MHz cada uno con 4MB de memoria cache, con un total de memoria RAM de 1.25 GBytes, discos SCSI que suman 40.9 GBytes)
  - Computadora Personal Celeron (procesador intel, memoria RAM de 120 Mbytes, 5 GBytes en disco duro)
  - Computadora Sun SPARCstation 20
  - Simulador OPNET Modeler versión 4.0B de la compañía Mil3
  - Paquetes de computación como Word, Excel, Powerpoint, Netscape, Matlab, etc.
  - Red CICESE

#### ***1.4 Estructura de la Tesis***

En este capítulo se presentó un resumen acerca del trabajo de tesis, los objetivos de este trabajo y la metodología del desarrollo. Las características de la tecnología ATM y la manera en que ha venido integrándose a los sistemas de comunicación existentes, así como las ventajas y requerimientos de esta tecnología son mencionados en el capítulo II.

Los aspectos relacionados, al igual que las características de implementación y requerimientos de la extensión inalámbrica del ATM, son mostrados en el capítulo III, donde además se presenta un estudio acerca de los principales protocolos MAC propuestos. En el capítulo IV se describe la operación del modelo WATM, sus características, sus parámetros, la asignación de ranuras de tiempo, la implementación del enlace descendente, la implementación y requerimientos del algoritmo de asignación dinámica de canales de acceso y la implementación y características del algoritmo de asignación dinámica del umbral entre subtramas.

Mientras que en el capítulo V se presentan los resultados obtenidos de la simulación del modelo WATM con la implementación del algoritmo de asignación dinámica de canales de acceso, los cuales también son analizados bajo tres escenarios: Modelo WATM sin asignación dinámica de canales, Modelo WATM con asignación dinámica de canales con incremento de minicanales dependiente del tráfico del sistema, Modelo WATM con asignación dinámica de canales con incremento temporal de minicanales. También se analiza la asignación dinámica de canales de acceso en combinación con la asignación dinámica de umbral entre subtramas.

Finalmente, las conclusiones, recomendaciones, aportaciones y sugerencias de trabajo a futuro se encuentran en el capítulo VI. Se incorporan las referencias y acrónimos del trabajo y en el anexo se presenta información acerca del paquete de simulación OPNET.



## ATM como Tecnología Emergente

### **II.1 Telecomunicaciones**

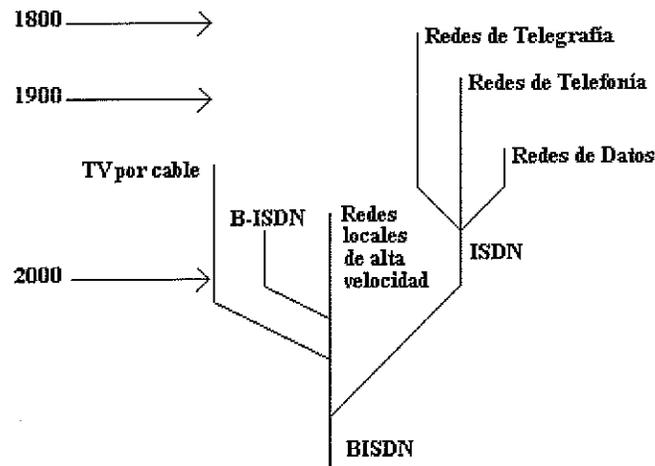
A través de los años los sistemas de comunicaciones han mejorado notablemente, hoy en día estos tienden hacia una completa integración debido al rápido desarrollo de los siguientes aspectos:

- Conmutación de paquetes y conmutación rápida de paquetes
- La definición de las interfaces de comunicaciones basada en el modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI)
- Las implementaciones de las redes digitales de servicios integrados de banda estrecha y banda amplia (ISDN y B-ISDN)

La manera en que se ha desarrollado esta integración se puede observar en la Figura 1. Esta integración tiene como objetivo crear una gran plataforma de red, que pueda proveer los servicios demandados por los usuarios, los cuales involucran aplicaciones que requieren de gran ancho de banda y retardos bajos (como la videoconferencia). Esta plataforma será también la parte medular de los futuros sistemas de comunicación.

#### **II.1.2 Fuentes de Información y Codificación**

Cualquier sistema que produzca información es considerado una fuente de información. Existen una gran variedad de ellas, tales como video, sonido (voz, música) y las llamadas fuentes discretas (datos). Las señales originadas por estas fuentes son divididas en dos grandes categorías:



**Figura 1. Integración de la transmisión de información**

- **Señales Analógicas:** Señales dependientes del tiempo, en que la amplitud y el tiempo, con un intervalo determinado, pueden tomar un número infinito de valores diferentes. Por lo que la señal es continua en amplitud y tiempo.
- **Señales Digitales:** Estas pueden tomar un número finito de valores diferentes en un número finito de puntos diferentes en el tiempo, por lo que son discretas en amplitud y tiempo.

Esta clasificación se ha dado así debido a que el mundo real es analógico, mientras que los aspectos de calidad y costo en el procesamiento y transmisión de la información requieren de la digitalización.

Para realizar la comunicación, las señales procedentes de las fuentes de información tienen que ser codificadas, esta operación se observa en el siguiente diagrama a bloques.



**Figura 2. Diagrama a bloques de un sistema de comunicación simplificado**

Algunos métodos de codificación son: Codificación de Fuente, Codificación de Canal, Codificación en Línea, Encriptación/Decriptación y Autenticación.

### II.1.2.1 Administración de Error

Cada canal utilizado para la transmisión de datos produce errores de bit provocados por las fuentes de interferencia (como las fuentes de ruido blanco). El número de errores (factor que determina la calidad del canal) es expresado como la Tasa de Error de Bit (BER), la cual es la razón entre el número total de bits incorrectos y el número de bits transmitidos. De manera general existen dos técnicas de administración de errores: Código de Detección de Error y Código de Corrección de Error.

- Código de Detección de Errores: Ofrece la opción de que el receptor destruya la información recibida incorrectamente, reemplazándola por palabras codificadas previas. Puede ser aplicado cuando la información requiera de tiempo real como el video o el sonido. También tiene la opción de que el receptor aplique Petición Automática de Repetición (ARQ), utilizando reconocimiento negativo ó positivo (NACK o ACK) para indicar si la transmisión ha llegado incorrecta o correcta, respectivamente.
- Códigos de Corrección de Errores: Estos son capaces de eliminar cualquier error que ocurra dentro de su capacidad correctora, usando un procedimiento conocido como Corrección de Error Adelantada (FEC).

Si el número de errores excede el límite definido, se tiene Error Residual. Para la codificación cíclica se tiene Supervisión de Redundancia Cíclica (CRC) y supervisión de bits por paridad llamada Secuencia de Supervisión de Trama (FCS).

### II.1.3 Redes

Las redes son la estructura formada por la conexión de nodos mediante enlaces (alámbricos y/o inalámbricos), necesarias en las telecomunicaciones para la transmisión de información. Se pueden clasificar de acuerdo a su topología y geografía, obteniéndose tipos de redes como son:

punto a punto, árbol lineal, estrella, árbol, jerárquica, anillo, malla, completamente conectada y triangulada. Las redes reales están formadas por uno o varios tipos de redes con la finalidad de ofrecer la más alta seguridad y buen servicio con el menor costo posible. Geográficamente se puede concebir una idea más clara para describir la realidad de la red, siendo local, amplia o metropolitana, por nombrar algunas.

Los flujos de información son enviados desde uno o varios puntos hacia uno o muchos puntos, con la posibilidad de entablar la comunicación en los tráficos conocidos como: en un sólo sentido, dos sentidos alternados, dos sentidos simultáneos y multipunto. Para obtener muchos canales de comunicación en un medio de transmisión sencillo se utiliza la multicanalización, la cual puede estar basada en el uso de diferentes frecuencias y en ranuras de tiempo (multicanalización por división de tiempo), esta última de mayor importancia en transmisión digital. Sin embargo, la multicanalización también puede realizarse con conmutación de paquetes, en donde la información se empaqueta en cantidades de cientos de bits de acuerdo al orden en que arriban y no en ranuras de tiempo fijo. Este método permite la transmisión de un gran número de Canales Virtuales (VC's).

En cualquier red los aspectos de direccionamiento, identificación, control de mensajes y llamadas caracterizan ampliamente al enrutamiento. De este depende el ofrecimiento de un buen servicio al usuario.

#### II.1.4 Conmutación

Las formas más importantes de conmutación son las siguientes:

- Conmutación de Circuitos: Único con característica de simultaneidad e igualdad, la información en la entrada aparece instantáneamente con la misma forma en la salida.
- Conmutación de Mensajes: Los mensajes son colocados en *buffers*, presenta retardo entre la llegada y el envío de la información debido a las formas de conversión utilizadas (de tiempo, por orden de entrega, tasa de bit, tasa de flujo, código, protocolo formato de mensaje y composición de mensaje).

- **Conmutación de Paquetes:** Opera con bloques de información llamados paquetes, los cuales tienen una longitud de paquete acorde con la tecnología utilizada. En su protocolo de comunicación se incluye la posibilidad de control de flujo, ejecutándose continuamente el protocolo de enlace de datos en cada conexión, contribuyendo a la corrección de los errores detectados.
- **Conmutación Rápida de Paquetes:** Desarrollado con mejoras en velocidad, corrección de errores a nivel de enlace y orientación a conexión. Sus paquetes (de longitud fija) son llamados celdas. Su diseño tiende a ofrecer los requerimientos demandados por los usuarios tales como: bajo retardo, corrección de error y tráfico de banda amplia (TV digital, por ejemplo); todas estas características necesarias para la buena operación de B-ISDN.
- **Conmutación Local:** Aquella realizada en las Redes de Área Local (LAN's), en las que para compartir un medio común de transmisión, se utilizan protocolos basados en el riesgo de colisión provocada por la inyección de datos al circuito; después de una detección de colisión, la inyección es repetida (Ethernet opera bajo este principio). Para regulación del acceso se utiliza el concepto *token*. Los estándares más importantes son para el *token bus*: 802.4 del IEEE con topología de árbol lineal (8802/4 de ISO) y para el *token ring*: 802.5 del IEEE con topología de anillo (8802/5 de ISO).

Todas estas maneras de conmutación pueden ser posibles gracias al equipo que controla y establece las conexiones requeridas, el cual además incluye operaciones de señalización y terminales que puedan almacenar la información del sistema. Los principios de conmutación descritos previamente son comparados en la Tabla I.

## II.1.5 Protocolos de Comunicaciones

Son los métodos necesarios para establecer las conexiones deseadas. Los protocolos existentes entre una terminal y la red son considerados de bajo nivel, mientras que los existentes entre dos terminales son de mayor nivel, en los que incluso la información es transmitida de manera

transparente. Además se cuenta con protocolos entre conmutadores a los que se denominan protocolos de red.

Para contar con un buen servicio de comunicación, es necesario crear un modelo acorde con las necesidades de los usuarios, que incluya la realización de varias funciones claramente reconocibles, por medio del cual se tenga una especificación y que con la asignación de nombre a cada una de sus etapas, ofrezca facilidad para discutir sus operaciones. El modelo es entonces un diseño de protocolo. El modelo presentado para esto es el seleccionado por la Organización Internacional de Estandarización (ISO), llamado OSI [Ayala, 1997].

**Tabla I. Comparación de los principios de conmutación.**

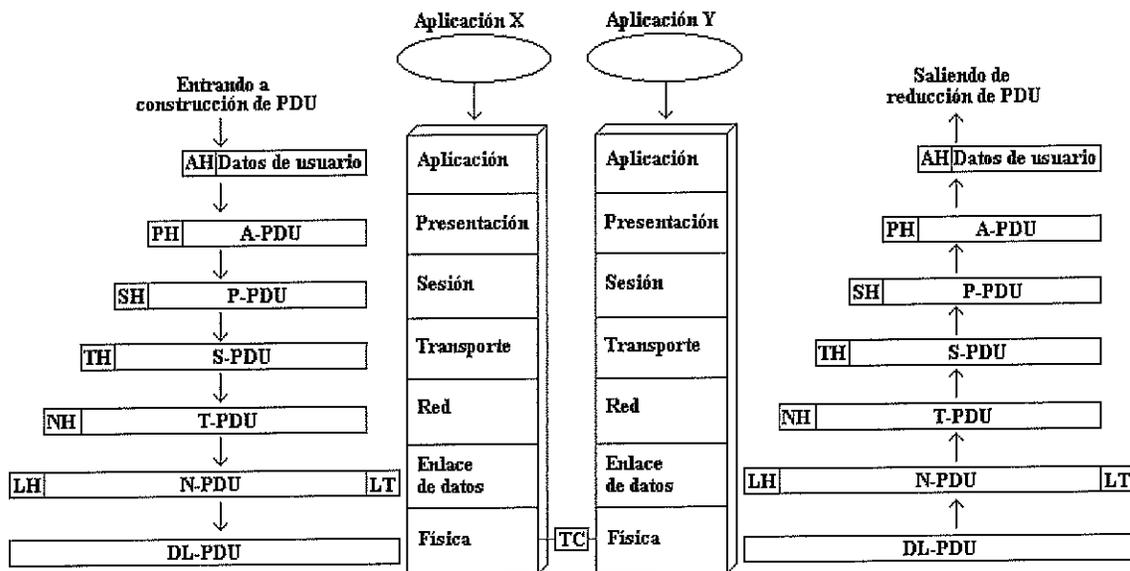
Principio de Conmutación	Versión	Flujo de Información	Topología	Servicios
Conmutación de Circuitos		Doble sentido	Muchas	Telefonía, comunicaciones de negocios, télex.
Conmutación de Mensajes	Almacenamiento y envío	Un sentido	Muchas	Telégrafo público
	Almacenamiento y devolución	Un sentido	Muchas	CBMS, Dialcom <sup>1</sup>
Conmutación de Paquetes	Datagramas sin conexión	Un sentido	Muchas	Redes privadas
	Orientada a conexión	Doble sentido	Muchas	Red pública de datos
Conmutación Rápida de Paquetes		Uno y doble sentido	Muchas	B-ISDN
Conmutación Local		Uno ó doble sentido	Arbol Lineal/Anillo	LAN's

### II.1.6 Modelo de Referencia OSI

Este modelo está basado en una arquitectura de capas, las cuales están organizadas de manera lógica. Existe una relación jerárquica entre sus funciones por lo cual una capa hace uso de las funciones de la capa anterior. Las funciones en la capa (N) son llamadas entidades (N), si existen varias entidades en la misma capa son llamadas entidades *peer*. El límite entre dos capas donde se ofrece un servicio (N) es conocido como el Punto de Acceso al Servicio

<sup>1</sup> CBMS acrónimo de Sistemas de Mensajes Basados en Computadora y Dial Communications.

(NSAP). ISO ha elegido una estructura con siete capas, tres de las cuales son para el acceso a funciones de la red de comunicaciones, las cuales contienen retardo en su operación. Un protocolo *peer* mantiene la relación entre entidades de un extremo y entidades *peer* de otro. Este modelo se muestra en la Figura 3 y sus capas de manera ascendente son:



TC: Trayectoria de Comunicaciones (punto a punto, red, etc.)

Figura 3. Modelo de Capas OSI

- 1 Física: Está en contacto con la transmisión de flujos de bit sin estructura sobre un enlace físico; envuelve algunos parámetros tales como la oscilación de la señal de voltaje y duración de bit, además de mantener relación con las características eléctricas, mecánicas y de procedimiento necesarias para establecer, mantener y desactivar el enlace físico.
- 2 De enlace de datos: Ofrece seguridad en la transferencia de datos a través de la capa física; envía bloques de datos (tramas) con la respectiva sincronización, control de error y control de flujo.

- 3 De red: Ofrece capas superiores con independencia desde la transmisión de datos y tecnologías de conmutación empleadas para la conexión de sistemas; es responsable del establecimiento, mantenimiento y realización de conexiones a través de las redes.
- 4 De transporte: Provee seguridad, transferencia transparente de datos entre puntos terminales, además de contar con recuperación de error de extremo a extremo y control de flujo.
- 5 De sesión: Provee estructura de control para comunicación entre aplicaciones; establece, dirige y concluye conexiones (sesiones) entre aplicaciones de cooperación.
- 6 De presentación: Ejecuta generalmente transformaciones comunes de datos para ofrecer una interfaz de aplicación estandarizada, como por ejemplo la encriptación, compresión de texto y reformato.
- 7 De aplicación: Ofrece servicios a los usuarios del ambiente OSI, como por ejemplo servidor de transacción, protocolo de transferencia de archivos y administrador de red.

## ***II.2 Las Comunicaciones Emergentes***

A lo largo del último siglo, la principal red de comunicación internacional ha sido la infraestructura telefónica, diseñada originalmente para transmisión analógica de voz. Debido a esto, se tiene la necesidad de un sistema de comunicación eficiente, veloz y con soporte para las distintas aplicaciones requeridas en la actualidad, tales como transmisión de voz, datos y servicios de grandes flujos de bits (videoconferencia, videomail y Televisión de Alta Definición-HDTV) [Ayala, 1997]. Este sistema de comunicación se convertiría en una red digital integrada.

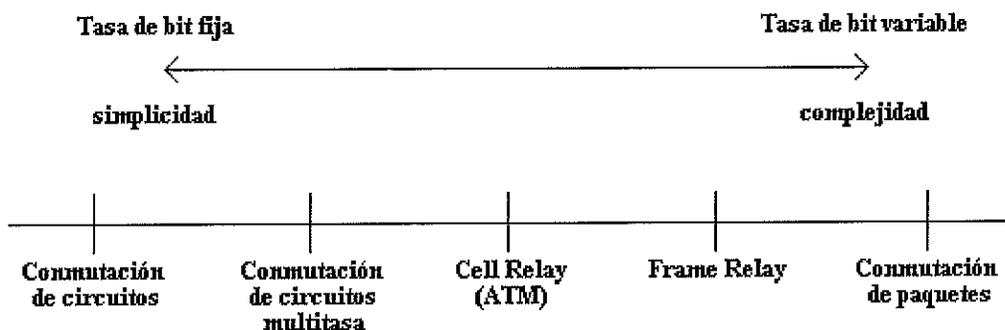
Esto contribuyó a que desde 1988 la planeación y diseño de redes, se enfocaran a una innovación superior a la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN) - aún en pleno apogeo de implementación - que evitara las limitaciones de ésta y diera origen a una red mundial conocida como Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (B-ISDN). Esta Red tendrá el apoyo de tecnologías desarrolladas como Retransmisión de Trama (Frame Relay) y Retransmisión de Celda (Cell Relay), esta última elegida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones - Sector de Estándares en Telecomunicaciones (ITU-T) la cual incluye: sencillez de conmutación y soporte *multicasting*. Una de las tecnologías que operan principalmente con Cell Relay es el Modo de Transferencia Asíncrono (ATM). El reto es encontrar un esquema de enrutamiento veloz con el mínimo de información por celda.

### II.2.1 Frame Relay, Cell Relay y SONET/SDH

Los modernos sistemas de comunicaciones necesitaban métodos más seguros y rápidos para transmitir la información, se crearon entonces nuevas técnicas que ayudaran a realizar esta tarea, entre ellas destacan:

- **Frame Relay:** Más desarrollado en E.U., su utilización en la última década ha significado un gran progreso que aportara el ISDN (recomendación I.233), al introducir en ese tiempo una nueva forma de transmisión de paquetes que permitiría la creación de nuevos estándares [CCITT, 1992]. Representa una alternativa de X.25 y provee un mecanismo e interfaz de conmutación de paquetes de flujo lineal.<sup>2</sup> Entre sus ventajas se encuentra la explotación de las altas tasas de datos. Cubre dos grandes áreas: control de llamadas y transferencia de datos. El Frame Relay es vulnerable a la congestión debido a la simplicidad de su protocolo basado en dos capas: la física y la de datos.
- **Cell Relay:** Técnica en la cual está basado el Modo de Transferencia Asíncrono (ATM), culminación de todos los desarrollos en la conmutación de circuitos y paquetes, realizados en los últimos 20 años, es visto como una evolución del Frame Relay y ambos tienen la ventaja de seguridad y fidelidad de los medios de comunicación modernos como lo es la fibra óptica, para

proveer conmutación de paquetes mucho más rápida que X.25. Cell Relay aloja múltiples conexiones lógicas multicanalizadas sobre una interfaz física sencilla y al igual que Frame Relay, no tiene control de error de enlace a enlace. La mayor diferencia entre Cell Relay y Frame Relay, es que el primero utiliza paquetes de longitud fija llamadas celdas y el segundo maneja paquetes de longitud variable. Por medio de los paquetes de longitud fija, el encabezado de procesamiento es reducido considerablemente, dando como resultado que Cell Relay sea diseñado para trabajar en el orden de los megabits y gigabits por segundo, comparado con los dos Mb/s de Frame Relay. Además, ésta técnica puede ser considerada una evolución de la conmutación de circuitos multitasa al alojar canales múltiples con la tasa de datos de cada canal dinámicamente en demanda. Una comparación entre ésta y otras técnicas, puede verse en la Figura 4.



**Figura 4. Espectro de las técnicas de conmutación**

- SONET/SDH: Es una interfaz de transmisión óptica, que provee nuevas especificaciones de transmisión multicanalizada por división de tiempo, para aprovechar las ventajas de la capacidad de transmisión digital con alta velocidad de la fibra óptica. Nombrada de esta manera debido a que SONET (Red Óptica Síncrona) se propuso y estandarizó en E.U., mientras que SDH (Jerarquía Digital Síncrona) es un estándar de CCITT, en muchos aspectos ambas son compatibles pero no idénticas. SONET ofrece un mayor intervalo de tasas de bit compuestas

<sup>2</sup> X.25 es una técnica de conmutación de paquetes, con limitaciones debido a su considerable encabezado y su dificultad para soportar aplicaciones con altas tasas de datos.

(de 51 a 2,488 Mb/s), sin embargo, las tasas de bit compuestas de SDH han sido seleccionadas para ser idénticas a tres de las ocho de SONET (155, 622 y 2,488 Mb/s).

## II.2.2 B-ISDN y ATM

Entre los servicios que ofrece B-ISDN destacan los siguientes:

- Servicio con soporte de banda amplia sin restricción
- Videotelefonía de banda amplia con alta calidad
- Videoconferencia de banda amplia con alta calidad
- Distribución de TV con alta definición (HD) y EQ
- Videotexto de banda amplia

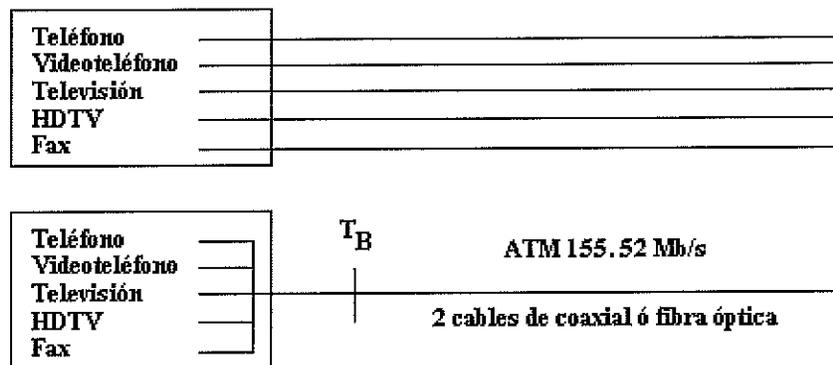
ATM fue definido por CCITT como “un modo transparente en el cual la información es organizada dentro de celdas; es asíncrono debido a la esencia en que la recurrencia de las celdas que contienen la información de un usuario determinado no es necesariamente periódica”. ATM ha sido elegido por ITU-T<sup>3</sup> como el procedimiento de transferencia para B-ISDN. Esta tecnología se encuentra en etapa de estandarización, permitiendo velocidades de 155.5 Mb/s y 622 Mb/s y tasas mayores, seguridad y retardos mínimos en transferencia y procesamiento de información, redes de conmutación y multicanalización para soportar cualquier tipo de tráfico. En la Figura 5 se muestra la manera en que ATM optimiza la infraestructura de red y en la Figura 6 el modelo de capas para ATM.

## II.2.3 Estructura de una celda de ATM

ATM consta de pequeñas unidades de información de longitud fija de 53 bytes, de los cuales 5 son de encabezado y 48 de carga útil, por lo cual se ubica inmediatamente arriba de la capa física en un modelo de capas convencional (capa 1 del modelo OSI) y no requiere usar un protocolo de capa física específico; sin embargo, se espera que SONET/SDH sea la tecnología estándar de transmisión. La estructura de una celda de ATM se muestra en la Figura 7 y el formato del encabezado en la Figura 8.

---

<sup>3</sup> ITU-T es el organismo internacional de estandarización de la industria de las Telecomunicaciones, sucesor de CCITT.

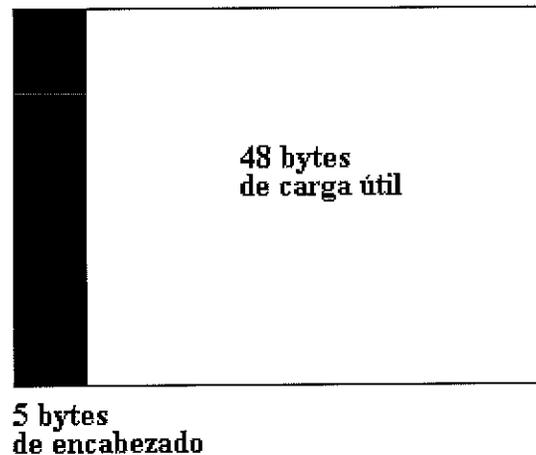


$T_B$  : Punto de referencia para B-ISDN

Figura 5. Conexión física sencilla de ATM comparada con las conexiones para cada servicio

Subcapa de Convergencia Segmentación y Reensamble	CS	AAL
	SAR	
Control de flujo genérico Generación y extracción de encabezado de celda Traducción del VPI/VCI de celda Multicanalización y demulticanalización de celda		ATM
Desacoplo de la tasa de celda Generación/verificación del HEC Delineado de celda Adaptación de la trama de transmisión Generación/recuperación de la trama	Convergencia de Transmisión	Capa Física
Tiempo de bit Medio físico	Medio Físico	

Figura 6. Modelo de Capas para ATM



**Figura 7. Celda de ATM**

Las partes que conforman el formato de encabezado se describen a continuación.

- **Control de Flujo Genérico (GFC):** Aparece sólo en la interfaz de usuario, por lo que no se incluye en el formato de la interfaz de red; utilizado para controlar el flujo de tráfico para diferentes calidades de servicio, además soporta configuraciones punto a punto y punto a multipunto.
- **Identificadores de Canal y Trayectoria Virtuales (VCI, VPI):** El VPI constituye un campo de enrutamiento para la red, consiste de ocho bits en la interfaz de usuario y de doce en la de red; el VCI es utilizado para enrutamiento hacia/desde la terminal de usuario, por lo que sus funciones son mucho más que un punto de acceso al servicio.
- **Tipo de carga:** Indica el tipo de información, un valor de 00 indica información de usuario, otros valores están siendo estudiados.
- **Prioridad de pérdida de celda (CLP):** Utilizada para ofrecer selección durante la congestión de red, un valor de 0 indica alta prioridad y no se descartan al momento de congestión, mientras que las celdas con CLP de valor 1 son entregadas a su destino solo si la red no se encuentra congestionada.

- **Control de error de encabezado (HEC):** Cada celda de ATM incluye un campo para el control de error en el encabezado (HEC), el cual es calculado con los 32 bits permanentes del encabezado, su código es obtenido con el polinomio  $X^8+X^2+X+1$ . Este código puede ser usado para detección de error y en algunos casos para corregirlo, esto debido a la suficiente redundancia existente en el código. La función de protección de error cubre al sistema de errores de bit en el encabezado y presenta baja probabilidad de entrega de celdas con encabezados erróneos bajo condiciones de error por ráfaga.

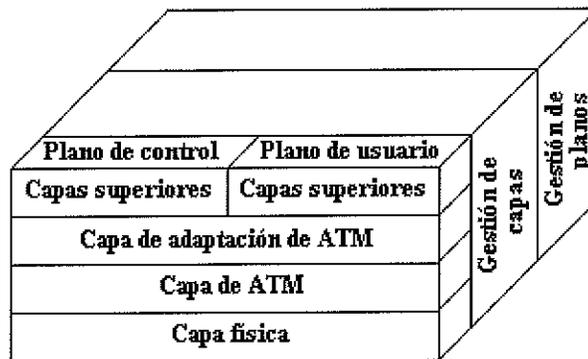
Bit:	8	7	6	5	4	3	2	1	Byte:
	Control de flujo genérico				Identificador de trayectoria virtual				1
	Identificador de trayectoria virtual				Identificador de canal virtual				2
	Identificador de canal virtual								3
	Identificador de canal virtual				Tipo de carga	Reservado	Prioridad de pérdida de celda		4
	Control de error de encabezado								5

**Figura 8. Formato del encabezado de celda en la interfaz de usuario de red (de acuerdo a la recomendación I.361 de CCITT)**

### II.2.3.1 Protocolos

La arquitectura de protocolo para B-ISDN introduce nuevos elementos no establecidos en ISDN y hace referencia a tres diferentes planos, tal como se muestra en la Figura 9.

Se está diseñando en la ITU-T un estándar denominado Q.93b (similar a Q.931 de ISDN) y mientras no se encuentre terminado, sólo habrá disponibles protocolos propietarios. Para el direccionamiento de la información en redes privadas se tienen los modelos *Peer* y *Overlay*.



**Figura 9. Modelo de Referencia para Protocolo de B-ISDN**

- **Modelo *Peer*:** Considera a la capa de ATM semejante a las capas de red existentes, proponiendo que ATM utilice el mismo esquema de direccionamiento que los protocolos de la capa de red existentes.
  - **Ventaja:** No requiere desarrollar un nuevo protocolo.
  - **Desventaja:** Incrementa la complejidad de los conmutadores ATM, incorporando tablas de direccionamiento para todos los protocolos.
  
- **Modelo *Overlay*:** Separa la capa de ATM, definiendo un nuevo direccionamiento.
  - **Ventaja:** Todos los protocolos operarán sobre las redes ATM.
  - **Desventaja:** Requiere una nueva conformación de protocolo y estructura de direccionamiento.

Debido a lo anterior, ATM Forum<sup>4</sup> seleccionó Overlay, ya que su independencia en formulación de protocolos permite desarrollo para ATM y redes existentes con direccionamiento basado en el estándar del Punto de Acceso del Servicio de Red con Interconexión de Sistemas Abiertos (*OSI Network Service Access Point*). Otros trabajos hasta hoy realizados por ATM Forum se enlistan en [[www.atmforum.com](http://www.atmforum.com), 1999].

<sup>4</sup> ATM Forum es un organismo mundial formado en octubre de 1991, integrado por especialistas y empresarios relacionados con ATM, cuyo objetivo es la difusión, desarrollo e implementación de esta tecnología.

## II.2.4 Capas de Adaptación de ATM y soporte de video

Para poder empaquetar la información en la celdas se cuenta con la capa de adaptación de ATM (AAL), la cual se divide en 2 subcapas, la de Convergencia (CS), encargada de procesar errores y soportar aplicaciones específicas; y la de Segmentación y Reensamble (SAR), la cual divide en celdas la información recibida de CS en el nodo origen y las reconstruye en el nodo destino. La capa de adaptación considera distintos protocolos según el tráfico, esta clasificación puede observarse en la Figura 10.

	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
<b>Relación de tiempo entre fuente y destino</b>	Requerida		No requerida	
<b>Tasa de bit</b>	Constante	Variable		
<b>Modo de conexión</b>	Orientado a conexión			Sin conexión

**Figura 10. Clasificación del servicio para AAL**

Existen 5 tipos diferentes de capas de adaptación de acuerdo al servicio o aplicación:

**AAL1:** En esta capa se maneja una señal de CBR, se establece una relación de tiempo y se da de alta una conexión entre la fuente y el destino.

**AAL2:** Aquí la información del tiempo se cambia entre la fuente y el destino, la segmentación y reensamble requieren mayor procesamiento debido a la posibilidad de contener servicio VBR.

**AAL3/4:** El tipo 3 ofrece servicios VBR orientados a conexión, se utiliza para mecanismos preestablecidos de transferencia de datos en ráfaga. El tipo 4 ofrece los mismos servicios que el tipo 3, pero sin orientación a conexión. Ambos tipos de capas han sido establecidos en una recomendación común por ITU.

AAL5: En este tipo se adaptan protocolos de paquetes legados como el Frame Relay y Ethernet para la transmisión en ATM. Su trabajo es reconstruir paquetes largos por medio de los paquetes de ATM, o de lo contrario, segmentar paquetes largos dentro de celdas de ATM. El contenido de un paquete AAL5 puede ser mayor a 64 Kbytes y el portador contiene información del paquete.

Para sincronizar la operación del transmisor y el receptor en el sistema ATM, se proponen 2 técnicas: la del Estampado de Tiempo Sincrónico Residual (SRTS) y la de Recuperación Adaptiva del reloj.

#### II.2.4.1 Mantenimiento

Mantener un sistema de comunicación en buen estado de operación, requiere de una supervisión constante, así como del estudio y análisis de soluciones posibles cuando existan escenarios que deterioren su desempeño. Existen dos formas básicas de mantenimiento:

**Preventivo:** Multicanalización determinística y estadística, las cuales tienden a controlar el tráfico de red para no saturarla. Los conmutadores tienen en su entrada un control a nivel celda que impide el exceso a límites acordados. Los esquemas utilizados son: el *Leaky Bucket* propuesto por ITU-T, el cual es muy limitado y el Control de Admisión de Ráfaga (BAC).

**Correctivo:** Para el control de flujo en ATM se ha estandarizado el esquema *Leaky Bucket*.

Para la comunicación entre la entidad controladora y los elementos del sistema, es conveniente utilizar sistema *multicasting* (multidifusión), ya que ofrece direccionamiento lógico y ahorro en el ancho de banda. Los modelos propuestos para integrarlo en ATM son: *multicasting* por ruta virtual, servidor *multicast*, conexiones punto a multipunto *overlaid* (superpuestas).

La eficiencia en la transmisión de información y en particular la de video, aumenta si la infraestructura de red tiene protocolos capaces de dar soporte y ampliar la QoS; además, deben considerarse los factores que realicen la interoperabilidad de los diferentes sistemas con la red ATM, como son: el tipo de tráfico de video y capas de protocolos para interconexión [Ayala, 1997].

## II.2.5 Congestión y Calidad de Servicio (QoS) en ATM

Algunos de los algoritmos utilizados para la asignación del ancho de banda en redes ATM son:

- Algoritmo de asignación de ancho de banda estático, que cuenta con ancho de banda fijo y fuentes fijas a ciclo (ancho de banda por fuente = ancho de banda fijo/fuentes fijas).
- Algoritmo de asignación adaptiva de ancho de banda dinámico, basada en la población del *buffer*, el cual contiene ancho de banda asignado.
- Algoritmo de asignación adaptiva de ancho de banda, donde no se numeran ciclos y si existieran fuentes con gran cantidad de errores limitaría la operación de otras.
- Algoritmo de asignación primero en llegar, primero en servir.
- Algoritmo de asignación dinámica de ancho de banda basada en prioridades.

Chowdhury [Ayala, 1997] compara estos cinco algoritmos y concluye que el algoritmo de asignación de ancho de banda dinámico, resulta más conveniente para ser utilizado en paquetes de video en redes ATM, basándose en los parámetros de comparación, tales como retardo promedio de celda y el coeficiente de variación de retardo.

## II.2.6 Interconexión de redes ATM con redes existentes

La unificación de las comunicaciones a través de ATM, será un fenómeno interesante. Esto ofrecerá nuevas oportunidades y aplicaciones, afectará la dinámica de la Industria de las Comunicaciones con la competencia y alianzas entre los sectores industriales que hoy pueden considerarse como divididos.

### II.2.6.1 Redes ATM Nativas

Con características y formatos (establecidos y algunos sin establecer), el modo de transferencia asíncrono, representa una gran alternativa para su implementación en aquellas redes en las cuales se utiliza el video, audio y datos.<sup>5</sup> Si bien es cierto que se trabaja en la estandarización de algunos protocolos propietarios, estos pronto habrán de ser acordados, por lo cual su

---

<sup>5</sup> A pesar de las propuestas para mejorar al popular FDDI, los especialistas decidieron dirigir sus esfuerzos y estudios hacia el desarrollo e implementación del ATM, debido a sus ventajas, transparencia y superioridad.

estandarización está cercana. Las necesidades de cada una de las implementaciones - futuras - serán el factor detonante de su realización, en la que sistemas y modelos establecidos no son desaprovechados, por lo cual los enlaces con SONET/SDH en Portadora Optica Nivel n (OC-n), así como las capas AAL y Protocolo de Control de Transmisión (TCP), también son requeridos por ATM.

### II.2.7 Resumen

De manera sencilla se muestran las características principales de los sistemas de comunicaciones y la forma en que estos operan. Se describen aspectos necesarios como el control de errores, la infraestructura de red, las formas de conmutación y se llega a los protocolos en donde se presenta la importancia de contar con el Modelo OSI para cubrir los procesos de comunicación entre usuarios.

Se demuestra que ATM ha sido considerada una Tecnología Emergente, gracias a las ventajas que ofrece como garantía de calidad de servicio, orientación a conexión, transparencia, la mayor eficiencia y velocidad nunca antes obtenidas en la transmisión de cualquier tipo de tráfico de información, que va desde los datos hasta el video. Todo esto acrecentado por las demandas en estos servicios y por el gran esfuerzo por establecer este sistema, llevándolo a ser el soporte de B-ISDN. ATM comienza a suplir a métodos existentes y no quedará aislado, sus capas de adaptación le permitirán aprovechar los sistemas establecidos y ofrecer el mejor servicio, por lo cual se espera que ATM sea la parte medular de las próximas infraestructuras de redes, colocando a las comunicaciones en el antes y después de ATM.



## Modo de Transferencia Asíncrono Inalámbrico

### ***III.1 Comunicación Inalámbrica***

La comunicación inalámbrica puede realizarse por medio de radio o vía óptica. Vía radio, la comunicación se realiza empaquetando la información y transmitiéndola hacia su destino a través de nodos (los cuales incluyen el equipo transceptor) en una banda de frecuencia asignada para tal efecto. Los radio nodos interactúan unos con otros, creando así una gran red de comunicaciones similar a la estructura celular (aunque el área de cobertura por nodo sea pequeña) en la que grandes cantidades de datos pueden moverse en cualquier dirección. Los paquetes de información son transmitidos desde un transmisor hacia un receptor destino y éste envía una señal de reconocimiento al transmisor. Si en la señal de reconocimiento se indica que el paquete llegó incorrectamente, se realiza la retransmisión. Destaca que para asegurar una buena calidad de transmisión, el transmisor y el receptor deben situarse a una distancia no mayor que la de su cobertura, además de contar con línea de vista [Ayala, 1997].

La comunicación por vía óptica es similar a la operación de la estructura de radio. Sin embargo, aquí el medio portador de la información es un haz infrarrojo que llega a los receptores, quienes se encargan de detectar la amplitud y la posición de las señales ópticas. Los receptores pueden construirse con simple detección de potencia y no debe existir algún objeto que obstaculice el enlace óptico entre transmisor y receptor; además, su espacio de cobertura es pequeño (cerca de 4 m). Este tipo de sistema opera mejor en ambientes interiores y contiene dispositivos económicos.

Aunque el sistema óptico es recomendable para lugares donde la interferencia electromagnética representa un serio problema, el radio es preferido para dar solución a las redes de paquetes inalámbricas interiores o exteriores de alta velocidad, ya que no es restringido a la línea de vista y no requiere posicionamiento específico, además cuenta con multiacceso simple. Por lo cual, se tomará principalmente el acceso vía radio para los siguientes temas.

### **III.2 Arquitectura, equipo y características del ATM Inalámbrico.**

El WATM (Modo de Transferencia Asíncrono Inalámbrico) ha nacido como un concepto por medio del cual se contará con el acceso a los servicios del ATM, sin necesidad de conexión alámbrica de red.<sup>6</sup> De forma muy general, WATM operará con radio nodos enlazados a estaciones base, las cuales se conectarán hacia la red ATM (como se muestra en la Figura 11 y en la Figura 12) y ésta a su vez podrá interoperar con las redes existentes, teniendo así la posibilidad de ofrecer los servicios demandados por los usuarios, como lo son las aplicaciones multimedios tal como se presenta en la Tabla II. Cabe mencionar que las comunicaciones inalámbricas en cuanto a su mantenimiento y reconfiguración de red, reducen los costos comparados con una LAN fija. Es importante diseñar una estructura capaz de integrar los servicios de voz, datos y video, para la siguiente generación de servicios de comunicación móvil.

**Tabla II. Ejemplo de servicios para redes ATM inalámbricas**

Aplicación	Velocidad (Kb/s)	Retardo Máx. (ms)	Tasa de error de bit
Telefonía	2.4-32	30-40	$10^{-3}$
Videoconferencia	64-384	40-90	$10^{-7}$
Video Digital (calidad TV/VCR)	1,000-10,000	100	$10^{-6}$
Datos	100-10,000	30 (bajo retardo) 300 (alto retardo) > 300 (base de datos)	$10^{-6}$
Correo Electrónico	9.6-128	100	$10^{-6}$

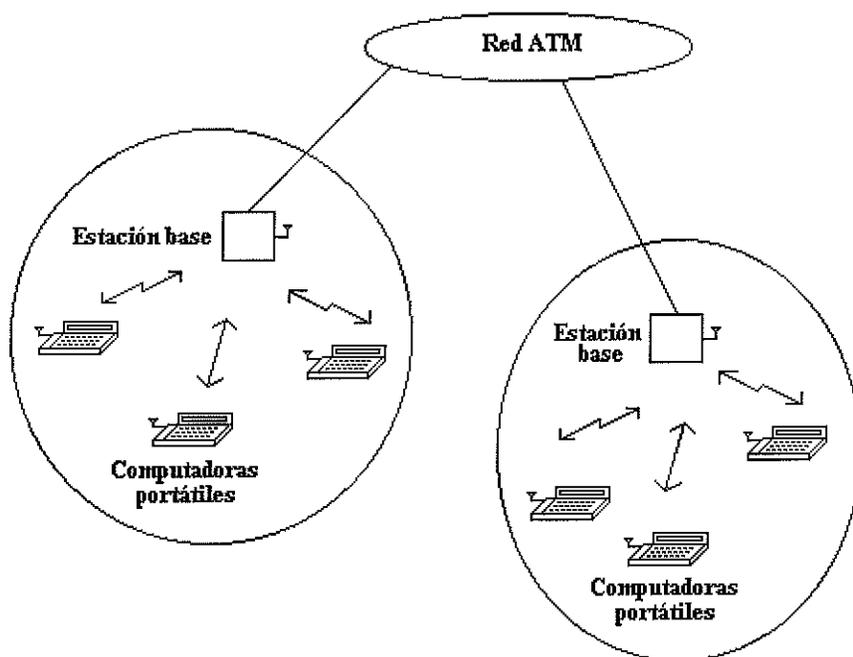
<sup>6</sup> A principios de 1996, ATM Forum establece WATM Working Group para enfrentar el desafío de proveer servicios de banda amplia sobre una interfaz de aire.

Los componentes básicos de un sistema WATM son:

- Radio nodos: Equipo del usuario final en este sistema que consiste de un dispositivo de procesamiento portátil al cual se ha adaptado una interfaz de radio y desde donde se accederá a la estación base para conectarse a la red de ATM.
- Estación base: Equipo transceptor que atiende la solicitud del radio nodo, contiene la interfaz del radio nodo con la red ATM y además podría soportar movilidad de nodos.
- Conmutador y red ATM: Infraestructura necesaria para utilizar el sistema y todos los servicios que éste ofrece, como velocidad y diferentes tipos de tráfico (CBR, VBR, ABR y UBR) utilizados en información multimedia.

Para el buen desempeño del WATM, éste contiene 2 subsistemas, los cuales son:

- Protocolos de la capa de radioacceso, que incluye a la capa física de radio, control de acceso al medio, control de enlace de datos y control inalámbrico.
- Extensiones del Protocolo de ATM móvil, que incluye control del cambio automático de canal, administración de localización, control de enrutamiento y QoS.



**Figura 11. Arquitectura del ATM Inalámbrico**

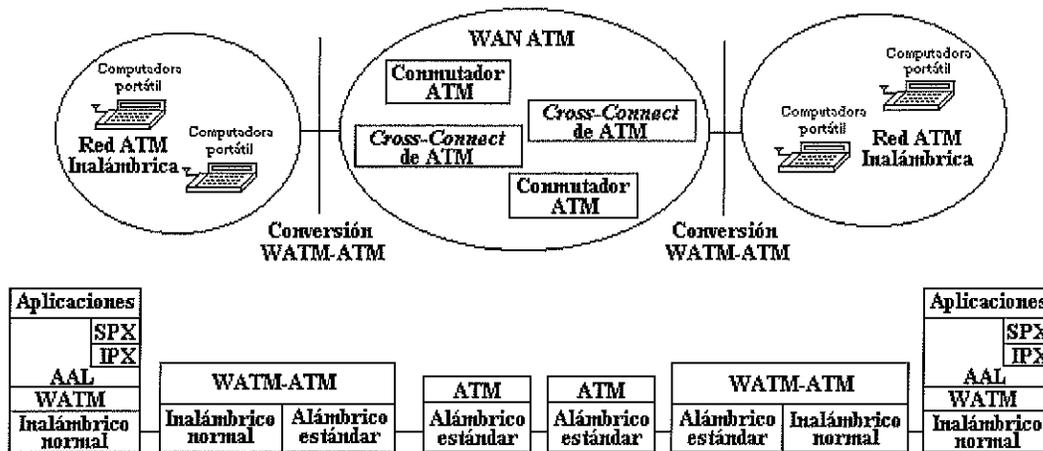


Figura 12. Interconexión de WATM y ATM

### III.3 Capa de Radioacceso

Consiste de algunas nuevas capas de protocolo, necesarias para extender los servicios de ATM sobre un enlace inalámbrico incluyendo los siguientes aspectos:

- **Capa física de radio:** Para la cual se requiere de un radio módem capaz de proveer transmisión segura en un ambiente micro o picocelular, con células de radio entre 100 y 500 m. La frecuencia de operación depende de las bandas de frecuencia disponibles (que van desde los 900 MHz hasta los 60 GHz), de las políticas nacionales e internacionales, además de las ventajas y desventajas en su uso, con la posibilidad de operar con frecuencias asignadas para este tipo de comunicaciones, como la banda Supernet ubicada dentro de los 5 GHz en E.U. y la Hiperlan ubicada arriba de los 10 GHz en Europa [Ayala, 1997], en la Tabla III se muestran las principales bandas de frecuencia existentes para ofrecer los servicios de comunicaciones inalámbricas.

Cabe mencionar que la limitación básica para la frecuencia de operación es alrededor de los 10 GHz, debido a la dificultad presentada por la tecnología en nuestros días, ya que los elementos de silicio no operan a esa frecuencia y los de Arseniuro de Galio si operan pero son demasiado

costosos, agregándose la atenuación expuesta a esas frecuencias según la ecuación estándar de propagación ( $20 \log$  frecuencia). Este servicio con velocidades de transmisión superiores a 1 Mb/s y menores a 20 Mb/s, desarrollándose métodos que puedan ofrecer mayor rapidez. Para la modulación se puede utilizar QPSK/QAM (Conmutación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura/Modulación de Amplitud en Cuadratura).

- **Control de Acceso al medio (MAC):** Requerido para soportar uso compartido del canal de radio por muchos dispositivos terminales y diferentes tipos de tráfico (ABR, CBR, VBR y UBR). Un factor clave para la selección del MAC es sin duda, la habilidad que tenga éste para soportar los diferentes tipos de tráfico ATM con niveles razonables de QoS, mientras mantiene una alta eficiencia razonable. Algunas técnicas han sido consideradas para WATM como: extensiones de Acceso Múltiple por Reservación de Paquetes (PRMA), versión dinámica de TDMA/TDD (Acceso Múltiple por División de Tiempo/Canalización Dual por División de Tiempo), TDD, OFDM (Multicanalización por División de Frecuencia Ortogonal de Multiportadora) y CDMA (Acceso Múltiple por División de Código).
- **Control de enlace de datos (DLC):** Es necesario para mitigar el efecto de los errores del canal de radio antes de que las celdas sean liberadas por la capa de red ATM. Opciones disponibles de DLC's incluyen protocolos de detección de error y retransmisión, y métodos de corrección de error adelantada (FEC). Se considera que WATM requiere una buena sincronización para servicios basados en QoS.
- **Control Inalámbrico:** Necesario para soportar las funciones del plano de control en la capa de radioacceso y su integración con la red ATM, incluyendo capacidades de señalización para completar el control de trayectoria entre el enlace de radio y la capa tradicional de señalización/control en ATM. Sus funciones cubren desde un enlace de datos hasta la transferencia del nodo a otra estación base con mínima pérdida de celda.

**Tabla III. Bandas de Frecuencia para redes inalámbricas.**

<b>Banda de Frecuencia</b>	<b>Ancho de banda</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
915 MHz (902-928 MHz)	26 MHz	Banda ISM regulada por FCC	Disponible sólo en Norte América, muy congestionada
1.9 GHz (1910-1920 MHz)	10 MHz	Banda sin licencia para operaciones PCS, abierta en Europa para DECT y E.U. por FCC	Ocupada por usuarios de enlaces microondas punto a punto, no tiene bastante ancho de banda para transmitir a 25 Mb/s
2.4 GHz (2.4-2.4835 GHz)	83.5 MHz	Banda ISM ligeramente cargada, regulada por FCC	Interferencia de hornos microondas.
5.2 GHz (5.15-5.3, GHz) 5.725-5.825 GHz) 5.8 GHz (5.725-5.85 GHz)*	100-150 MHz en Europa y 250 MHz en E.U.	Banda ISM regulada por FCC, más prometedora en términos de las aplicaciones de WATM, nombrada Supernet en E.U. para comunicaciones libres y muy rápidas	Banda altamente cargada, con algunas interferencias de radar, *disponible sólo en Norte América. Se emplean 100 mW de potencia efectiva sobre cortas distancias
10 GHz (17.1-17.3)	200 MHz	Diseñada por ETSI para operaciones LAN inalámbricas	La dificultad existente para implementaciones en frecuencias superiores a los 10 GHz debido a los costos de la Tecnología

Existen dos formas para transportar las celdas de ATM sobre el enlace inalámbrico: el encapsulado y el modo nativo. En el modo encapsulado, las celdas ATM son introducidas como carga útil de un protocolo de enlace inalámbrico diferente. En el modo nativo, la celda ATM es la unidad básica de transporte (excepto por el encabezado del radio enlace). Pareciera que el modo nativo supera al encapsulado, debido a que este último sufriría de repetición de protocolos, conversión de protocolos en cada interfaz inalámbrica/alámbrica, no transparencia, etc. Sin embargo, el encabezado de radio para el modo nativo puede ser tan alto, que la carga útil estaría debajo del 50% del valor nominal. Por lo que se tendría que diseñar cuidadosamente en este modo.

Los esfuerzos por obtener la mejor operación en la capa de radioacceso, han llevado a proponer la utilización de FEC aplicada al encabezado de la celda de ATM, lo cual es indispensable en los sistemas WATM para descartar las celdas erróneas de manera más segura. También se analiza y sugiere el uso de FEC en combinación con la detección de Palabra Unica (UW) para reducir significativamente el número de tramas necesarias para adquirir sincronización. Por otra parte, se proponen dos alternativas para el protocolo de señalización, la primera el *overlay*, integraría la movilidad dentro del *stack* de protocolos de ATM y serían mínimos los cambios a los trabajos realizados en esta materia; la segunda alternativa es la señalización migratoria nativa que pretende soportar en modo nativo a los usuarios fijos y móviles de ATM. La comparación de estas dos alternativas arroja que el *overlay* necesitará una enorme cantidad de conexiones, un ancho de banda de 1.4 Mb/s en promedio, usaría compuertas y podría tener problemas de escalabilidad; mientras que el modo migratorio, que requiere agregar algunos mensajes de señalización a los protocolos, no necesita conexión para ser establecido utilizando circuitos virtuales, es más eficiente en términos de ancho de banda (500 Kb/s), enrutamiento (no emplea compuertas) y es más robusta a la escalabilidad. También se sugiere utilizar una arquitectura a base de datos de doble fila [Ayala, 1997].

### **III.4 Movilidad, Control y Administración en WATM**

Para manejar la movilidad de nodos en una red WATM es necesario tomar en cuenta tres aspectos importantes: administración de localización, conexión y cambio automático de canal (*Handoff*). Sus actividades principales están indicadas en la Figura 13.

- **Cambio automático de canal:** Con la ayuda de los VC's (Canal Virtual), esta actividad puede ser mucho más sencilla y en menor tiempo, aportando dinamismo al enrutamiento, sin deteriorar la QoS y la secuencia de celdas. Se han propuesto algoritmos que contribuyen a realizarlo, como el preestablecimiento de un árbol virtual y el de la estación base origen. Es importante mencionar que lo mejor sería que el VC se mantenga a través de toda la trayectoria.

- **Localización:** Provee un mapeo de los radio nodos, registrando su posición y manejando su petición considerando su localización. Utiliza el concepto de localización origen/localización de visitante, método usado en GSM y en el estándar celular digital IS-41 y en un proyecto llamado BAHAMA. Una importante implementación sería el grado al que el servicio de localización debería ser integrado con el control de llamada ATM y el *software* de enrutamiento.

- **Enrutamiento y QoS (control de conexión):** Estos aspectos están fuertemente relacionados, para mantener los parámetros de servicio seleccionado a través de la duración de la conexión de un móvil. Se cree que el factor clave para una operación robusta sería, la capacidad de la red y el radio nodo para renegociar los parámetros del VC durante el transcurso de la conexión. Es posible también usar más extensión de trayectoria lineal durante el cambio automático de canal, seguido de una optimización periódica de trayectoria y procedimientos de remoción de lazo.

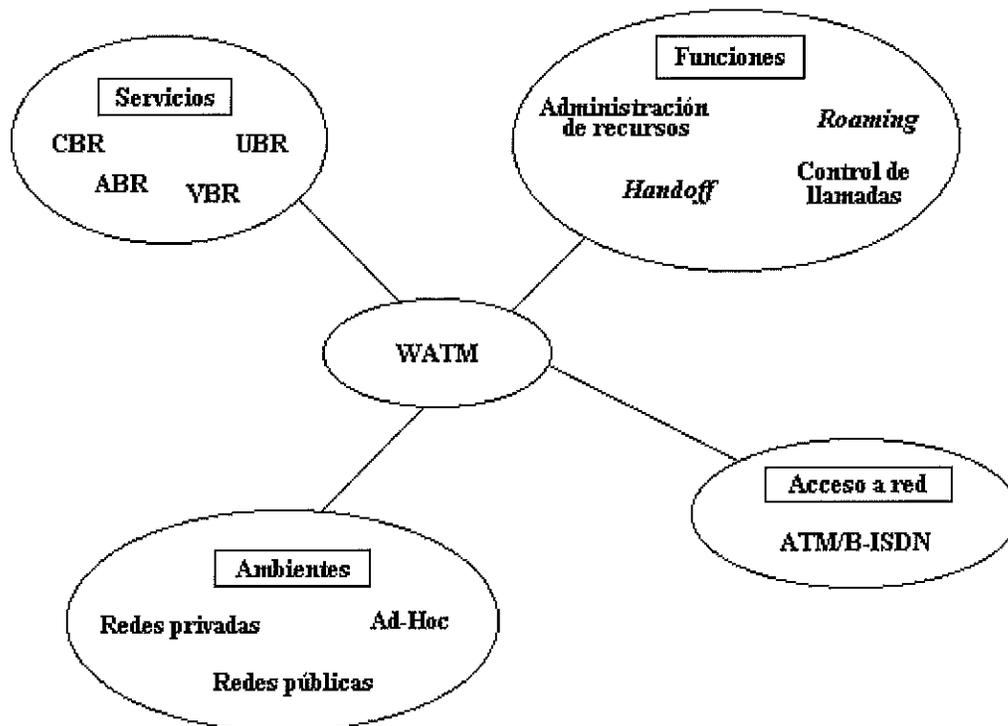


Figura 13. Actividades básicas de la red WATM

Del análisis de los aspectos antes mencionados se ha obtenido en [Veeraraghavan *et al.*, 1997] una propuesta para solucionar la realización de *handoffs* rápidos, mientras se mantiene la secuencia de celdas y se garantiza la calidad de servicio, función basada en diseño de estaciones base con capacidad de conmutación y *buffer* para alojar reenrutamiento de las celdas de ATM. Se propone también un nuevo esquema de administración de localización distribuida en LAN's que no requiere servidores de localización inicial (u origen), en la que cada estación base identifica a los móviles ubicados dentro de su área de cobertura, y solicita información de los usuarios a través de los enlaces alámbricos a todas las estaciones base por medio de la difusión, contribuyendo al ahorro de valiosos recursos de la interfaz de aire. Además, las mediciones de tiempo de servicio obtenidas de la implementación de esta propuesta, indican que pueden ser manejadas más de 100 llamadas/seg. por cada nodo dentro de una red de 50 nodos, con un alto porcentaje de móviles (75%) respecto a terminales fijas, esto es comparable a la eficiencia en el manejo de llamadas realizado por el ATM alámbrico, con una latencia de 1.3 ms de *handoff*.

Es conveniente mencionar que el área de cobertura picocelular consistente en algunas decenas de metros, reduce la cantidad de nodos móviles por estación base, lo que contribuye a un mejor manejo en el control y administración de llamadas.

### **III.5 Sistemas Propuestos y Prototipos**

Alrededor del mundo diversas Instituciones y Laboratorios de Investigación se han colocado a la vanguardia en el estudio, análisis, diseño, implementación y simulación de sistemas ATM inalámbricos [Ayala, 1997]. Los primeros resultados de estas propuestas han demostrado algunas características mínimas logradas por estos sistemas entre las que se puede destacar:

- Una cobertura picocelular de algunas decenas de metros por parte de la estación base
- Utilización predominante de radioenlaces en las bandas de 2.4 y 6 GHZ
- Velocidad mínima de transmisión a 2 Mbps
- Una eficiencia del enlace del 50%

Los parámetros que determinan la capacidad de estos sistemas son: la velocidad y eficiencia del enlace, control de error, de acceso y de movilidad, la interconectividad con las redes legadas y su soporte multimedios.

Luego de una revisión a los sistemas recomendables, hoy las propuestas de BAHAMA, WATMNet y MagicWAND se prevén como las más prometedoras. Esto es una clara muestra de que el WATM comienza a extenderse más allá del simple acceso y se prepara a ser la herramienta que logre conjuntar calidad y movilidad a las comunicaciones. La idea ambiciosa de integrar una plataforma común para la información y la telecomunicaciones basada en ATM tiene ahora un punto más a su favor, lo cual motivará más el desarrollo de esta tecnología.

### ***III.6 Algunos Protocolos MAC Propuestos***

La parte clave en un sistema ATM inalámbrico es permitir que todos los usuarios en su cobertura puedan acceder a sus servicios de comunicaciones, más aún tratándose de que el medio de comunicación es compartido. Para lograrlo se cuenta con tres métodos: la contención, la reservación y el sondeo.

Por medio de la contención, el usuario puede intentar el acceso en el momento que sea necesario. En la reservación, el usuario podrá transmitir sus datos únicamente en la ranura de tiempo que le ha sido asignada exitosamente luego de una petición; por otra parte, en el sondeo los usuarios son cuestionados para conocer si desean transmitir para asignarle un tiempo específico.

Los protocolos pueden agruparse en las siguientes clases:

- Asignación fija
- Acceso Aleatorio
- Asignación en demanda controlada centralmente
- Asignación en demanda con control distribuido
- Estrategias adaptativas y modos mixtos

Las técnicas de asignación fija, a las cuales pertenecen el TDMA y FDMA, son ineficientes cuando se cuenta con aplicaciones tipo ráfaga. Este tipo de tráfico es manejado de mejor manera por métodos de acceso aleatorio tales como el ALOHA y CSMA.

Cuando la capacidad de canal es asignada en demanda, el sistema es estable con mayor cantidad de tráfico, además de presentar mejor productividad y rendimiento de retardo. Esta clase de protocolos utilizan un intervalo de tiempo para realizar la reservación de canal, después de realizada la reservación, la información es transmitida sin obstáculos. Sin embargo, durante el periodo de reservación pueden existir conflictos. La forma más completa para manejar todo tipo de situaciones como la fluctuación del tráfico, cambios de tiempo, etc., la presentan los esquemas adaptativos y modos mixtos, debido a que el sistema realiza los ajustes necesarios por sí mismo, dependiendo de la situación actual.

Las técnicas de acceso pueden dividirse en dos grandes grupos:

1. Las de Espectro esparcido (SS), en donde todas las terminales móviles dentro de un área de cobertura, pueden utilizar todo el ancho de banda de manera simultánea. Estas técnicas podrían usar saltos de frecuencia ó secuencia directa; un acceso natural perteneciente al SS es el Acceso Múltiple por División de Código (CDMA).
2. Las de Multicanalización por División en Tiempo, donde las terminales móviles transmiten a tiempos específicos, usando todo el ancho de banda disponible del canal de radio. La técnica de acceso en este caso es el Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA).

A pesar de que las técnicas SS han demostrado ser más robustas a la interferencia y reutilización de frecuencia, requieren mayor ancho de banda, esto las hace inapropiadas cuando el espectro de radio es limitado. Debido a esto, las técnicas TDMA son más atractivas para implementarse en los sistemas WATM.

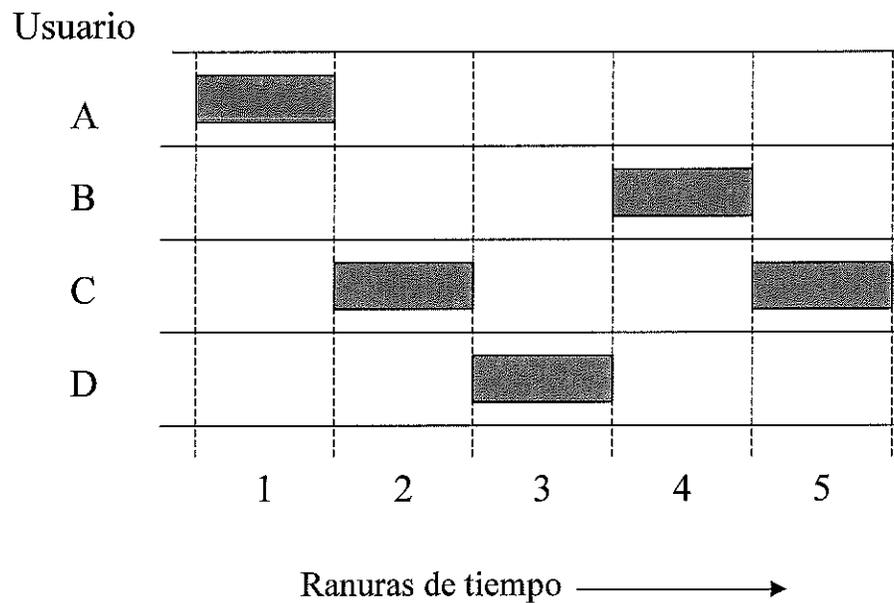
La mayoría de las técnicas TDMA utilizan para la solicitud del servicio (etapa en la cual el usuario aspira para la reservación de las ranuras de transmisión) por parte de las terminales móviles a la estación base, una técnica de acceso aleatorio llamada ALOHA Ranurado (*Slotted ALOHA*). Esta transmisión se realiza en el enlace ascendente, por lo cual, el caso de menor

estudio en esta área corresponde al enlace descendente, que ocurre cuando existe comunicación desde la estación base a las terminales móviles, ya que la estación mantiene el control total del canal.

Las propuestas en TDMA pueden distinguirse además por la cantidad de portadoras de frecuencia que utilizan entre la estación base y los móviles, de esta forma existen la División de Frecuencia Dual (FDD) que utiliza dos frecuencias (una para el enlace ascendente y la otra para el descendente) y la Canalización Dual por División de Tiempo (TDD) la cual utiliza una sola portadora de frecuencia. A pesar de que las técnicas TDD ahorran *hardware* en la terminal móvil debido a que emplean una sola frecuencia, estas inducen un mayor retardo ocasionado por el tiempo de apagado y encendido (*turnover*) del transceptor.

### III.6.1 ALOHA Ranurado

El protocolo ALOHA Ranurado (*Slotted ALOHA*) divide el tiempo de contención en ranuras discretas, de tamaño igual al de un paquete (Figura 14). Las transmisiones solo son permitidas en el inicio de cada una de las ranuras. De presentarse una colisión, los paquetes involucrados son destruidos completamente sin dañar a los demás. Con esto se duplica el rendimiento (hasta un valor del 36.8% de caudal eficaz) de su antecesor el protocolo ALOHA Puro, en el cual se permite transmitir paquetes en cualquier tiempo. El caudal eficaz está definido por la expresión  $S = Ge^{-G}$ , donde  $G$  es el tráfico ofrecido al sistema. Los reconocimientos de los paquetes recibidos correctamente en la base, son dados a conocer mediante el *broadcast*, el cual no interfiere con la transmisión de otros móviles, esto asegura la recepción del mensaje. Si una terminal móvil no recibe el reconocimiento, esta asume que su paquete se ha perdido y podría retransmitirlo luego de un tiempo de espera aleatorio. El ALOHA Ranurado representa una buena opción debido a la facilidad de implementación [Linnartz, 1993].



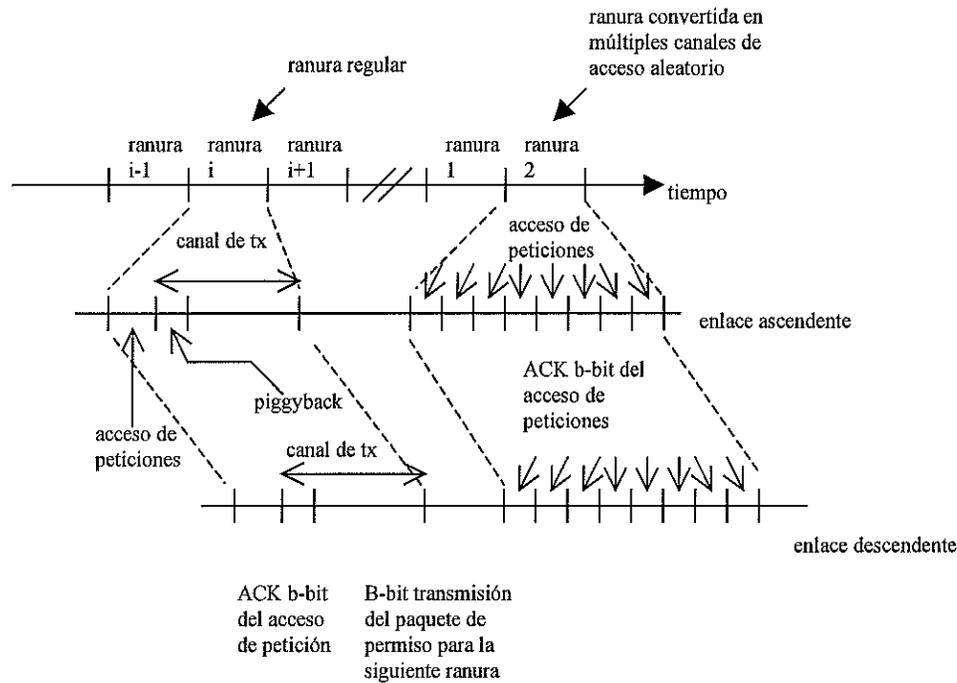
**Figura 14. ALOHA Ranurado**

### III.6.2 Propuestas de Protocolos MAC basados en FDD

#### III.6.2.1 Acceso Múltiple por Actualización Solicitada de Cola Distribuida (DQRUMA)

El enlace ascendente está dividido en series de mini ranuras utilizadas para el acceso de peticiones en un periodo limitado, seguido de una ranura de transmisión de paquetes (ver Figura 15). Si es necesario, la estación base puede convertir un canal de transmisión de paquetes en mini ranuras de acceso de peticiones. La estación base le envía un reconocimiento al móvil luego de una recepción exitosa de la petición. Se incluye un mensaje de continuidad *piggyback* dentro del paquete de transmisión en caso de que el usuario tenga más paquetes que transmitir [Sánchez *et al.*, 1997]. Para el acceso de peticiones se propone ALOHA ranurado o el Algoritmo de Conteo Binario. Los paquetes regulares tienen una longitud de 62 bytes (53+9), mientras que la longitud mínima del paquete de acceso sería de 10 bytes (1+9).

En sus ventajas se puede apreciar la utilización de mini ranuras de acceso para evitar la pérdida de una ranura completa en una colisión y el uso del *piggyback*. Su desventaja radica en tratar al tráfico VBR y ABR de manera similar por lo que no considera prioridad.



**Figura 15. Diagrama de tiempos DQRUMA**

### III.6.2.2 Acceso Múltiple por Reservación de Paquetes con Asignación Dinámica (PRMA/DA)

Se considera una trama de enlace ascendente de longitud fija, dividida en ranuras de tiempo de reservación, en las que se colocan cuatro tipos de servicio: Datos, CBR, VBR y ranuras disponibles para petición. La estación base es responsable de la asignación de ranuras para cada uno de los tipos de servicio. Para solicitar el servicio, los usuarios deben seleccionar aleatoriamente una de las ranuras disponibles para petición en el enlace ascendente. Dependiendo del tipo de tráfico y de la disponibilidad de ranuras, la estación podría asignar ranuras para transmisión consecutiva. El usuario de arribo exitoso mantendrá su transmisión hasta su conclusión sin volver a contender.

Las llamadas CBR y ABR tienen un tiempo de vida útil, si lo exceden, las llamadas son descartadas. De acuerdo a los resultados del procedimiento de contención, la estación base

incrementa o decrementa (hasta un mínimo de uno) el número de ranuras disponibles para petición en la siguiente trama del enlace ascendente. Incluye también bits de sincronización en el encabezado de paquete, el cual es de tamaño regular a 53 bytes.

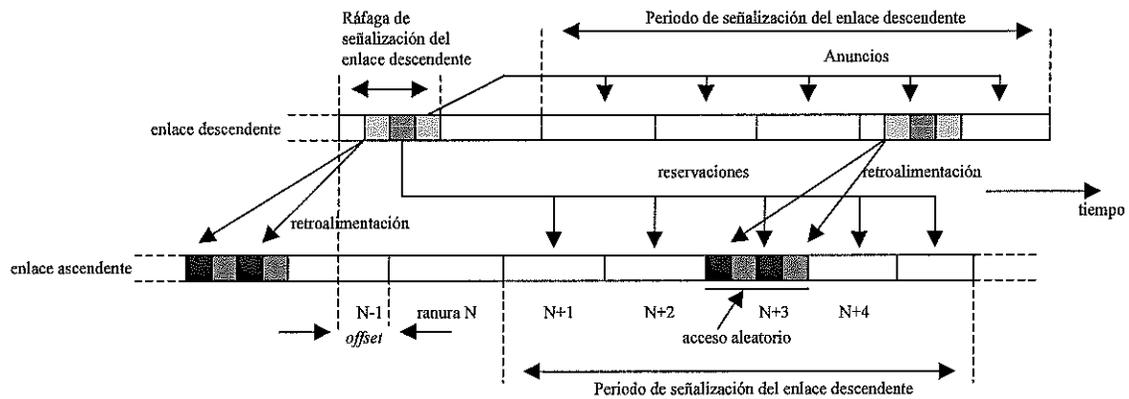
Su principal ventaja radica en contribuir a resolver la etapa de contención, evitando utilizar ranuras de petición que no son necesarias. Sin embargo una de sus desventajas es que para el acceso, utiliza ranuras completas en lugar de mini ranuras [Sánchez *et al.*, 1997].

### **III.6.2.3 Asignación Dinámica de Ranura (DSA++)**

Este protocolo utiliza una trama de longitud variable para el enlace ascendente y descendente mediante una estructura llamada ráfaga de señalización, la cual se encarga de separar las diferentes etapas de estado del sistema (Figura 16). La longitud de la trama podría ser de 8 a 15 ranuras. Incluye un *offset* entre cada periodo para compensar el retardo de propagación. La asignación de ranuras esta basada en el calculo de prioridad para cada terminal móvil que esta siendo servida.

Los parametros dinámicos que determinan la prioridad (de los servicios CBR, VBR, ABR y UBR) son actualizados cuando la estación base cuestiona a la terminal mediante sondeo o acceso aleatorio usando ranuras de longitud más pequeña, para esto la estación base realiza un cálculo para determinar cual será el número de ranuras pequeñas que deberían estar disponibles en el siguiente periodo de señalización basada en los parámetros de probabilidad de un nuevo arribo de paquete, número de terminales móviles y la eficiencia del acceso aleatorio.

Entre sus ventajas se puede mencionar la difusión de información que define el siguiente periodo de señalización en una ráfaga sencilla del enlace descendente y también la posibilidad de dividir una ranura del enlace ascendente en cuatro pequeñas ranuras destinadas al acceso, esto permite resolver la contención de acceso de una manera eficiente y rápida [Sánchez *et al.*, 1997].



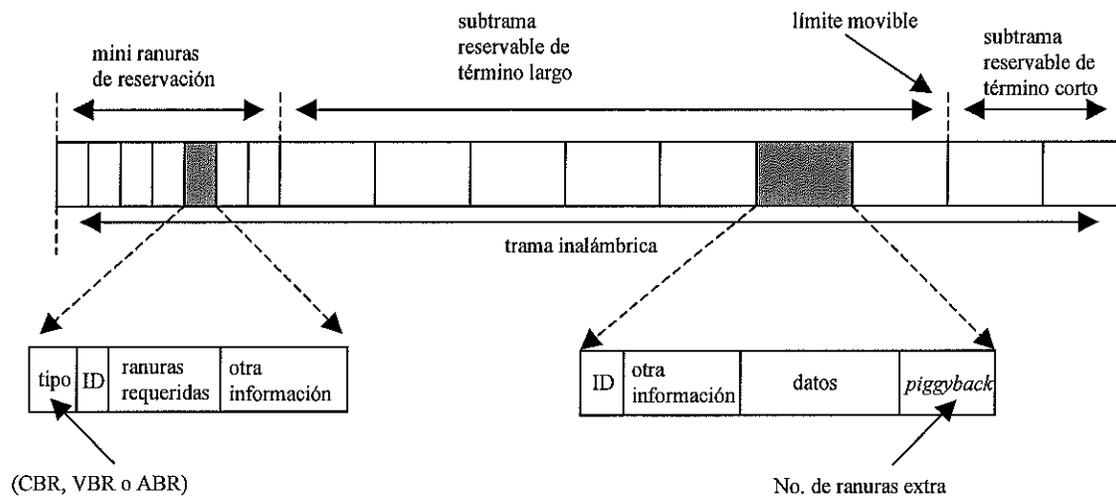
**Figura 16. Esquema de señalización del protocolo DSA++**

### III.6.2.4 TDMA Dinámico con reservación mediante “piggyback” (DTDMA/PR)

Se considera una trama de longitud fija y ranuras de transmisión con tamaño igual al de un paquete ATM. La trama del enlace de subida consiste primero de ranuras de reservación, seguido por ranuras reservables de longitud larga y por último de ranuras reservables de longitud corta (ver Figura 17). El límite entre las subtramas de longitud larga y longitud corta es movable, de acuerdo al tráfico de volumen que está siendo manejado. Se toman en cuenta tres tipos de servicio: el CBR, VBR y ABR. El tamaño de ranura es de  $(53 \cdot 8 + \text{bits de encabezado})$ , y la longitud de trama es seleccionada de acuerdo a las características del codificador (CODEC) de voz.

La prioridad es asegurada colocando a los servicios CBR y VBR en la subtrama de longitud larga, los cuales son descartados cuando han excedido su tiempo límite, mientras que a los de ABR se les coloca en la subtrama de longitud corta. También se incluye un mensaje de *piggyback* en el tráfico VBR.

Entre sus ventajas se puede destacar el uso de dos tipos de longitud de trama para los diferentes servicios con límite movable, el empleo del *piggyback* y mini ranuras para reservación. Su única desventaja es no tomar en cuenta la QoS para diferenciar prioridad en las retransmisiones [Sánchez *et al.*, 1997].



**Figura 17. Estructura de trama DTDMA/PR**

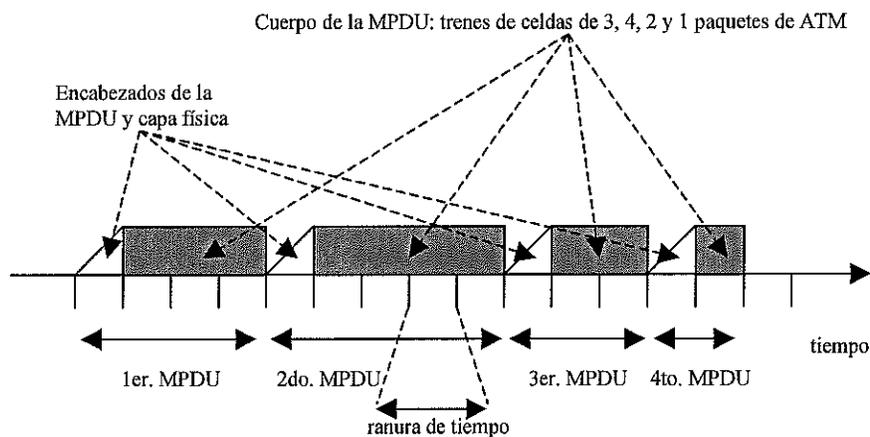
### III.6.3 Propuestas de Protocolos MAC basados en TDD

#### III.6.3.1 Esquema de Acceso Móvil basado en Contención y Reservación para ATM (MASCARA)

Está basado en una trama de tiempo de longitud variable que consiste de las subtramas del enlace ascendente y del enlace descendente. El enlace ascendente es dividido en el periodo de arribo de información y en el periodo de contención. Por su parte el enlace descendente consiste de una etapa de difusión seguida de una de transmisión hacia los móviles (Figura 18). Los límites entre los diferentes periodos son variables, por lo cual el número de ranuras de contención es reducido al mínimo [Sánchez *et al.*, 1997]. Para el proceso de transmisión se define el concepto de un tren de celdas, que consiste de una secuencia de paquetes de ATM con un encabezado común, esto da origen a la unidad de datos del protocolo MASCARA (MPDU).

Los móviles conocen si su servicio es dado de alta por medio de un mapa de ranuras, en el que se especifica el tamaño de los tres periodos y el asignamiento de las ranuras. El calendarizador empleado utiliza un algoritmo (PRADOS) basado en la prioridad, características agregadas y el retardo permitido de cada conexión activa. Este algoritmo combina las prioridades con un regulador de tráfico *Leaky Bucket*.

Sus principales aportaciones radican en el empleo del calendarizador y del algoritmo PRADOS. Las partes negativas del esquema son el uso de un paquete de petición tan grande como dos paquetes ATM, lo cual reduce considerablemente el caudal eficaz en momentos de congestión; además la longitud de trama variable introduce una dificultad extra en la asignación de capacidad para las terminales móviles con servicios CBR, ya que podrían requerir más de una ranura para su llamada.



**Figura 18. La estructura de las MPDU relacionadas con las ranuras de tiempo en MASCARA**

### III.6.3.2 Acceso Múltiple por Reservación de Paquetes con División de Tiempo Dual Adaptiva (PRMA/ATDD)

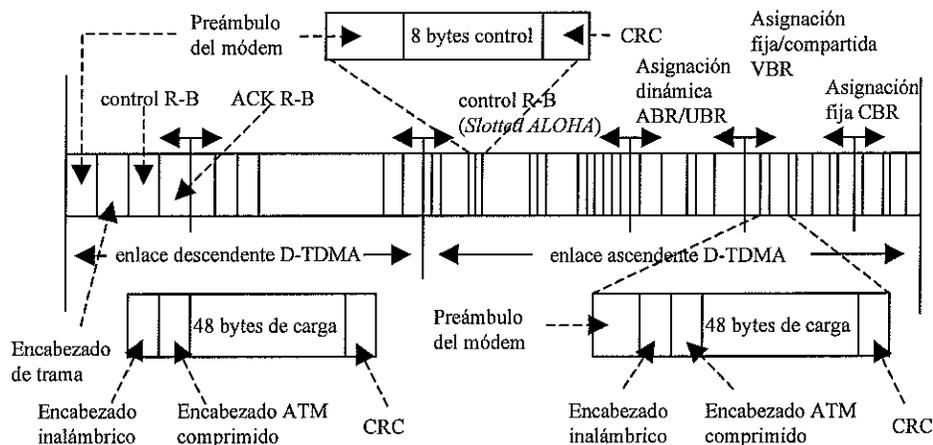
Consiste de una trama igual a 64 ranuras en la cual las subtramas de enlace ascendente y descendente son de longitud variable. La unidad básica de información es igual a 1024 bits. La primera ranura es utilizada para sincronía, la segunda para mensaje de difusión y las 62 restantes son utilizadas para el tráfico hacia o desde la estación base. El mensaje de difusión incluye el número de ranuras en la subtrama descendente, la asignación de cada ranura y la señalización relacionada a los parámetros PRMA y terminación de llamada.

La arquitectura involucra cuatro entidades de red: el manejador de lista estática, el administrador de lista dinámica, el generador de paquetes de difusión y la computadora de parámetros PRMA (PPC). Mediante las primeras entidades se supervisa el tiempo permitido por tipo de servicio en los paquetes, esto con la finalidad de ofrecer calidad de servicio y para el descarte de paquetes. Define un identificador de llamada de radio virtual [Sánchez *et al.*, 1997].

### III.6.3.3 TDMA Dinámico con División de Tiempo Dual (Dynamic TDMA/TDD)

Está basado en una estructura de trama de longitud fija, que incorpora ranuras destinadas (en el enlace descendente) para la retroalimentación y reconocimientos. La subtrama ascendente está dividida en cuatro grupos de ranuras: uno destinado para las mini ranuras de contención por medio del *Slotted ALOHA*, otro grupo para la asignación dinámica de tráfico ABR y/o UBR, otro más para la asignación fija y compartida del tráfico VBR y por último, un grupo de asignación fija para servicios CBR (ver Figura 19). Destaca que el límite entre las subtramas puede variar dependiendo de las condiciones que presente el sistema, así como también los límites entre los diferentes grupos de ranuras. Los paquetes de contención tienen una longitud de 7 bytes, mientras que los de datos son iguales a 57 bytes. Ambos paquetes requieren de un preámbulo igual a 16 bytes para la sincronización y ecualización.

Para el caso en que los ABR y UBR requieran una sola ranura, las ranuras contiguas son asignadas para reducir el sobreencabezado. Para el control se utilizan los parámetros de QoS y la calendarización. Sus principales ventajas radican en la asignación dinámica de ranuras acorde con la situación del sistema, el uso de mini ranuras para la contención y la incorporación de una capa de DLC que administre algunas funciones para resolver problemas correspondientes al algoritmo de retransmisión y caducidad de paquetes, dando prioridad a las peticiones de servicios para CBR ó VBR de tiempo real [Sánchez *et al.*, 1997].



**Figura 19. Formato de trama TDMA/TDD Dinámico**

### III.7 Resumen

Aprovechando todas las ventajas ofrecidas por la Tecnología ATM, existía la inquietud de superar los obstáculos y llevar todos sus servicios (como la transmisión de todo tipo de tráfico) al medio inalámbrico, aspecto tan necesario en nuestros días y en lo que sin duda será el factor detonante en la integración de futuros servicios y aplicaciones de Telecomunicaciones Inalámbricas. De esta manera se establecía al ATM Inalámbrico, que se espera sea el soporte para la siguiente generación de servicios de comunicación móvil y sustituirá en algunos casos a redes públicas. Utilizando las ventajas del espectro radioeléctrico (aunque para el acceso no se descartan enlaces ópticos), el usuario podrá entonces contar con servicios de red sin limitarse a un punto fijo, ni horario y las aplicaciones se realizarán a través de la red de ATM. Se han analizado las bandas de frecuencia disponibles para implementar el WATM y se sugiere sea inferior a los 10 GHz, sin embargo, tendrán que realizarse mayores estudios para aprovechar las bandas superiores. Ofrecer movilidad no es fácil, los algoritmos y protocolos que serán establecidos, deberán satisfacer las demandas del usuario y podrán escalar a mejores condiciones; debido a esto, una parte clave en WATM lo ha sido el estudio y análisis sobre este aspecto, del que se proponen algunas alternativas y sus resultados. Seguirán realizándose grandes esfuerzos y trabajos sobre movilidad y calidad de servicio, con el objetivo de no complicar ni mucho menos limitar, las ventajas que ha presentado el ATM.

## Asignación Dinámica de Canales de Acceso Aleatorio (ALOHA Ranurado) para una Red ATM Inalámbrica

### *IV.1 Introducción*

En años recientes, la búsqueda por encontrar soluciones y alternativas para permitir un acceso móvil a los servicios de Telecomunicaciones ha ido en aumento. La manera en que podrá permitirse el uso compartido del canal de comunicación y el buen aprovechamiento del mismo, son dos de los factores más dominantes para determinar el funcionamiento del sistema. WATM requiere esquemas que contribuyan a mejorar los aspectos antes mencionados para ofrecer una buena calidad de servicio a los usuarios móviles.

### *IV. 2 El Protocolo MAC TDMA/TDD*

El protocolo propuesto por [Sánchez, 1997] “MAC protocol for Wireless ATM based on Power Priorities”, incluye los aspectos más eficientes de los sistemas WATM propuestos en la actualidad. A grandes rasgos, el protocolo propuesto y contemplado en el desarrollo de Tesis Doctoral de [Sánchez, 1997] se puede describir como una técnica para utilizar un canal de radio digital a 23 Mbps, multicanalizado en tiempo (TDMA), usando una sola frecuencia para los enlaces de subida y de bajada (TDD), con ranuras asignadas por demanda y ranuras para acceso aleatorio (ALOHA Ranurado). El algoritmo de retransmisión propuesto está basado en prioridades por potencia (PP), con lo que se pretende inducir el efecto captura y lograr incrementar el rendimiento de los canales de acceso aleatorio. Finalmente, debido a que el área de cobertura de una radiobase es pequeña, y existe línea de vista entre el transmisor y el receptor, es necesario considerar desvanecimiento tipo Rician.

De la revisión de los protocolos propuestos para la capa MAC de los sistemas WATM, resulta ventajoso utilizar una sola frecuencia en la portadora (a diferencia de los sistemas que involucran FDD en su capa física), tal como se realiza en TDD, contribuyendo al ahorro de frecuencias utilizadas. Además, a partir de que el tráfico del enlace de bajada es mayor al de subida, el TDD utiliza el ancho de banda más eficientemente por medio de una asignación mayor de ranuras para el enlace de bajada. Algunas ocasiones el enlace descendente puede ser mayor que el enlace ascendente debido a la transferencia de archivos de información enormes o de recepción de video en demanda.

Considerando el ruido, desvanecimiento y la alta interferencia provocada por el canal de radio, es importante contemplar un método para una solución rápida de colisión en la etapa de acceso aleatorio. En este contexto es conveniente utilizar ranuras pequeñas (mini ranuras) para el acceso aleatorio del canal, debido a que las colisiones no causarán una degradación significativa del caudal eficaz.

Quizás el manejo de reconocimientos basado en ranura por ranura sea más fácil de implementar en un sistema FDD, sin embargo el FDD requiere de dos frecuencias. Es importante también considerar las diferentes calidades de servicio (QoS) como son CBR, VBR, ABR, UBR, lo cual podría ser reflejado en diferentes prioridades asignadas a los paquetes de petición para un algoritmo de solución de colisión.

Finalmente, una evaluación más realista del desempeño de la MAC propuesta tendría que incluir las diferencias específicas del canal de RF, lo cual reconocería el trabajo desarrollado solamente en el protocolo DTDMA/TDD. Para compensar parcialmente estas diferencias, debería ser utilizada alguna forma de FEC, al menos en las señales de acceso y control.

### ***IV.3 Estructura del Protocolo MAC***

El esquema TDD propuesto tiene una longitud fija de trama a 64 ranuras, con capacidad de 65 bytes en cada una de ellas, utilizando paquetes ATM estándar, al que se ha agregado un encabezado necesario para la capa física de radio. Este encabezado tiene una longitud de 76

bits, de los cuales 48 se utilizan para sincronización y los 28 restantes para el tiempo de guarda. El tiempo de guarda es necesario debido al retardo de propagación variable presentado entre los móviles y la estación base como resultado de la distancia que los separa. Por lo que todos los paquetes involucrados en esta propuesta con excepción del paquete de petición, incluyen los 28 bits de tiempo de guarda. Por medio de esto se pretende evitar un traslape entre los paquetes de ranuras contiguas de tal manera que se asegure un tiempo en el que no se realice transmisión alguna.

La duración de trama sugerida es equivalente al tiempo en llenar un octavo de la carga de un paquete ATM, con muestreo de voz ADPCM a 4 bits (una tasa de muestreo = 8 khz, y asumiendo un byte para AAL); lo cual es  $(11.5 * 125 \mu s)$  equivalente a 1.4375 ms. Por lo que se tienen  $(65 \text{ bytes} * 64 \text{ ranuras} * 8 \text{ bits}) = 33280 \text{ bits}$  en 1.4375 ms, que resultan en una tasa completa de 23.1513 Mbps. Esto da la facilidad de ofrecer servicios de voz CBR, dado que para servir una conexión de voz (para un usuario móvil) es necesario permitir la asignación de una ranura cada 8 tramas (si el retardo máximo lo permite).

Los principales cambios presentados por el protocolo MAC basado en prioridad por potencia respecto de los demás protocolos propuestos internacionalmente [Sánchez *et al.*, 1997] son:

- La utilización del esquema ALOHA Ranurado con Prioridad por Potencia
- La utilización de un número semifijo (flexible) de mini ranuras para petición (3 ó 7)
- La inclusión de códigos FEC en todos los paquetes, (que incluye en el caso de los paquetes de ranuras de transmisión los bits CRC de la carga).
- La inclusión de los bits de sincronización y tiempos de guarda en todas las ranuras del enlace de subida y del enlace de bajada.
- La inserción de un bit de *piggyback* para señalar la existencia de más paquetes en el *buffer* de transmisión de los usuarios móviles con tráfico VBR y ABR.

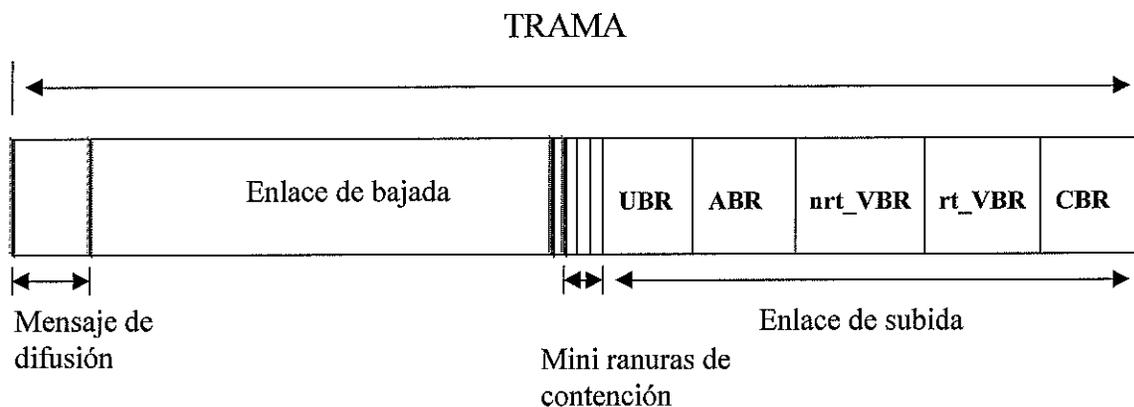
La trama TDD está dividida en dos subtramas: La subtrama de enlace descendente que contiene  $N_{dl}$  ranuras y la subtrama de enlace ascendente con  $N_{ul} = 64 - N_{dl}$  ranuras (ver Figura 20). Las primeras dos ranuras de la subtrama del enlace descendente son utilizadas para transmitir el

mensaje de señalización, y la primer ranura de la subtrama de enlace ascendente es utilizado para ofrecer una mini ranura de *turnover time* y 3 mini ranuras para el acceso vía contención.

La estación base puede convertir una ranura para transmisión de paquetes en cuatro mini ranuras de petición por medio de la detección de colisiones, cantidad de tráfico manejado, detección de retransmisiones y/o por tener algunas ranuras libres. El número de ranuras para el enlace descendente ( $N_{dp}$ ) está definido como  $N_{dp} = N_{dl} - 2$ . El número de ranuras del enlace de subida ( $N_{up}$ ) para la transmisión puede ser:

- $N_{up} = 64 - N_{dl} - 1$  en el caso normal de operación.
- $N_{up} = 64 - N_{dl} - 2$ , cuando la estación base resuelve convertir una ranura del enlace de subida en cuatro mini ranuras más para contención

Cuando la estación base indica que una ranura del enlace de subida podría convertirse en cuatro mini ranuras de contención, se refiere a la primer ranura utilizada para la subtrama de subida (o en su caso la última ranura del enlace de bajada). De esta manera, los usuarios móviles tendrían siete mini ranuras continuas de petición para elegir aleatoriamente y facilitar a su vez a la estación base la implementación del algoritmo de acceso vía contención (Figura 21).



**Figura 20. Estructura de trama TDD**

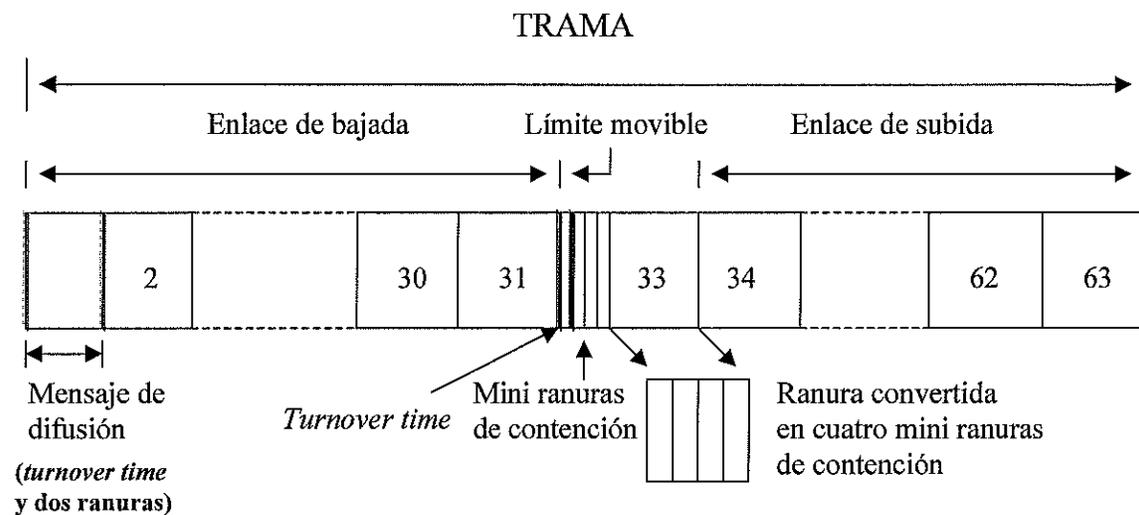


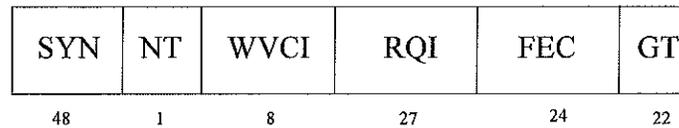
Figura 21. Estructura de trama con mini ranuras de petición extra

#### IV.4 El Algoritmo modificado de Acceso Aleatorio en S-ALOHA

El algoritmo propuesto [Sánchez, 1997] para la contención de peticiones es una versión modificada de S-ALOHA con control de potencia en la transmisión. En principio, los móviles realizarían una petición partiendo de un nivel de potencia suficiente para que la estación base pueda obtener dicha solicitud, luego, según el éxito o fracaso de este primer intento, los móviles podrían seleccionar un nivel mayor de potencia acorde con la calidad de servicio solicitada. Esto quiere decir, mayor nivel de potencia para prioridades más altas.

En un intercambio de canal o entre celdas, debería considerarse una excepción a los móviles con servicio CBR para permitirles arribar con la prioridad correspondiente. El control de potencia mencionado podría inducir el efecto captura de los paquetes de petición debido a que algunas peticiones serán realizadas con un nivel de potencia mayor a otras, permitiendo contar con una posibilidad mayor para lograr un éxito en su transmisión. El desempeño del sistema puede ser analizado desde dos perspectivas: cuando se cuenta con 3 mini ranuras de petición y cuando se cuenta con 7 de estas mini ranuras.

Los campos que contiene el paquete de petición se pueden observar en la Figura 22 y el significado de estos se describe a continuación:



**Figura 22. El paquete de petición**

**SYN:** Bits de sincronía

**NT:** Bit indicador de retransmisión (colocado en 1 cuando existe retransmisión )

**WVCI:** El identificador del móvil

**RQI:** La información del tipo de servicio del móvil incluye, la QoS, el PCR, el *piggyback* y el MCR

**FEC:** Algoritmo Reed Solomon (15,9)

**GT:** Tiempo de guarda

El FEC propuesto consiste de  $q = 16$  y capacidad de corrección de  $t = 3$  símbolos de cuatro bits.

El efecto captura está basado en la siguiente expresión

$$P_t > z \sum P_j \quad (1)$$

$$\text{ó} \quad \sum_{j=1}^n P_j < \frac{P_t}{z} \quad (2)$$

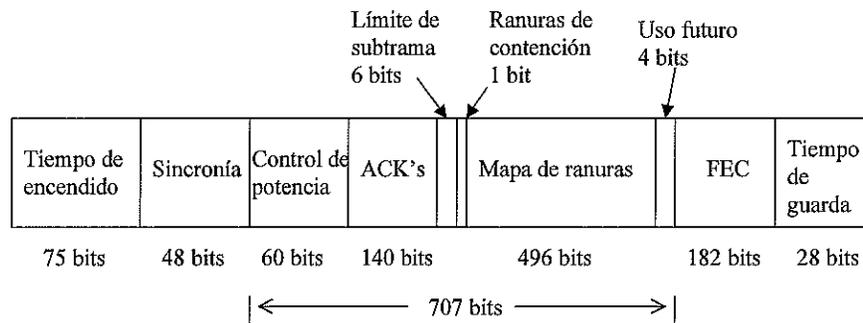
la cual indica que habrá captura del paquete  $t$  solo cuando la potencia de este paquete sea mayor por un factor  $z$  a la potencia total de todos los paquetes de petición enviados en ese momento.

#### **IV.5 La señalización**

El mensaje de *broadcast*<sup>7</sup> esta compuesto por 707 bits netos de mensaje más 333 bits para su transportación en la capa de radio, es decir un total de 1040 bits (130 octetos).

<sup>7</sup> Para la etapa de simulación del modelo WATM sólo se utilizarán las partes necesarias de este mensaje, información que además se entregará de manera directa a los usuarios.

La distribución de estos 707 bits, para cada uno de los campos es la siguiente (Figura 23):



**Figura 23. El mensaje de difusión**

- Mapa de identificación de ranura, un WVCÍ por ranura, se requiere de un total de ( $8 \times 62 = 496$  bits)
- Límite de subtrama, para indicar en que ranura se localiza este límite, se requiere para este campo la cantidad de (6 bits) que equivaldrían a las 64 ranuras.
- Total de ranuras de contención, es una o dos por lo que es necesario un solo bit.
- Reconocimiento (ACK) por cada petición del móvil, donde se indicaría asignación de WVCÍ del móvil (el cambio de la antigua identificación por la nueva) y la asignación o negación de ranura y la intertrama, se utilizarían 20 bits por reconocimiento, por lo que se tendría un máximo de siete peticiones recibidas por trama, lo cual hace necesario un campo de 140 bits.
- Control de potencia de móviles activos, se requiere del WVCÍ, un bit para indicar incremento o decremento, tres más para indicar la cantidad de potencia, dando un parcial de 12 bits por móvil, en total se mandaría este mensaje a 5 móviles por trama, lo que representan 60 bits.
- Un campo con los cuatro bits restantes para uso posterior.

Las características principales de la trama TDMA/TDD contemplada en el protocolo MAC basado en prioridad por potencia, pueden ser vistas en la Tabla IV.

**Tabla IV. Características principales de la trama TDMA/TDD**

<b>Sección de la trama TDMA/TDD</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidades</b>
Duración de la trama	1.41	Ms
Tasa de transmisión	23	Mbps
Bytes por trama	4160	Bytes
Preámbulo descendente	130	Bytes
Bytes asignados al enlace descendente	variable	Bytes
Número de ranuras en el enlace descendente	30	Ranuras
Tamaño de una ranura	33280	Bits
Bytes asignados al periodo de contienda	48.75	Bytes
Mini ranuras de contención	3 ó 7	Mini ranuras
Tamaño de una mini ranura de contención	8320	Bits
Bytes asignados al enlace ascendente	variable	Bytes
Número de ranuras en el enlace ascendente	32	Ranuras
Ranuras para UBR/ABR por trama	variable	Ranuras
Ranuras para NRT-VBR por trama	variable	Ranuras
Ranuras para VBR por trama	variable	Ranuras
Ranuras para CBR por trama	variable	Ranuras
Tasa de transmisión por cada ranura	359.375	kbps
Bytes asignados a <i>turnover time</i>	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

#### **IV.6 Asignación de ranuras en la trama**

Un sistema ATM inalámbrico debe cumplir con los requisitos contraidos al ofrecer los diferentes tipos de servicio y aplicaciones, de tal manera que se pueda ofrecer el mejor desempeño manteniendo una QoS satisfactoria. La asignación de ranuras tiene como objetivo ofrecer las características mínimas de servicio, supervisando parámetros como PCR (velocidad pico de celdas), el CTD (Tolerancia al retardo de celdas) y el SCR (tasa sostenida de celdas), entre otros.

Para garantizar la QoS es necesario asignar las prioridades correspondientes por tipo de tráfico y calendarizar la asignación considerando también las restricciones de retardo. Esta actividad se desarrolla de manera centralizada en la estación base, la cual mantiene todo el control del sistema.

Durante el inicio de cada una de las tramas para cada uno de los paquetes de petición que han arribado, la base lee la información de la solicitud de conexión, en base a estos datos determina la asignación del móvil mediante un mapa de ranuras. La ubicación depende del tipo de servicio, de derecha a izquierda tomando como referencia la trama, así las llamadas CBR tendrán asignadas las últimas ranuras dentro de la trama, las VBR serán ubicadas antes del servicio CBR y sucesivamente para los otros servicios.

La finalidad de estructurar de esta forma la asignación es permitirle movilidad al límite entre los enlaces, con el objeto de optimizar el uso de las ranuras de tiempo y por consiguiente aprovechar de mejor manera el ancho de banda total. El movimiento del límite dependería de la cantidad de tráfico que se esté manejando en los enlaces ascendente y descendente, aumentando o disminuyendo las ranuras destinadas a cada enlace. Al requerir más ranuras en el enlace descendente, se desalojarían las ranuras asignadas para servicios de baja prioridad en el enlace ascendente, para introducirlas a una cola de espera, restaurando su estado una vez que sean liberadas.

Durante la asignación existe una revisión continua de las ranuras que no han sido asignadas, de tal manera que pueda ofrecerse una cierta cantidad de ranuras o en su caso de retardar el servicio mientras se tengan las ranuras suficientes en el caso del tráfico CBR y RT-VBR. Cabe mencionar que los paquetes sensibles al retardo pueden ser desechados debido a su caducidad, al excederse del tiempo de utilidad de los mismos.

El mensaje de señalización permite informar a los usuarios móviles si la base les ofrecerá servicio y a quién le asignaron ranuras, también otros datos como el canal virtual inalámbrico (WVCI). Si el móvil no recibe ningún reconocimiento de la base después de una trama, este asumirá que el paquete de petición colisionó o no fue válido, por lo cual intentará de nueva cuenta la conexión de llamada, retransmitiendo su petición en la siguiente trama.

En general se realiza una asignación dinámica de ranuras para el tráfico que se reubica acorde con los arribos de nuevas peticiones y con el tráfico que ya se encuentra asignado. La reubicación sólo se da con los servicios de prioridad menor a la nueva solicitud asignada. En

los casos extremos en que el enlace ascendente está completamente ocupado, las ranuras asignadas al servicio UBR (el cual representa el tráfico de menor prioridad), serían desalojadas si ocurre un nuevo arribo de petición de tráfico de mayor prioridad. En esta actividad los mensajes de reconocimiento y el mapeo de ranuras juegan un papel importante para el control de la transmisión de los usuarios.

Cuando el móvil ha concluido la transmisión de toda la información termina la llamada colocando en cero el campo *piggyback* del último paquete. Esto permite liberar las ranuras asignadas para ofrecerlas a las nuevas solicitudes. También de esta manera se reanuda la asignación de ranuras para transmisión a todos los móviles que habían sido desalojados temporalmente y cuyas llamadas fueron insertadas en una cola.

#### ***IV.7 El enlace descendente “downlink”***

Otra de las etapas incluidas en el modelo WATM es la simulación del enlace descendente, en el cual, la estación base transmite toda la información en ranuras de tiempo específicas como parte de las necesidades de servicio y de conexión en la comunicación con cada uno de los usuarios móviles. Para implementarlo de manera flexible, se ha estudiado el análisis de tráfico existente en una red real y en operación, como lo es RED-CICESE, de la cual se ha tomado como referencia la proporción en que el enlace descendente es mayor al ascendente ya que estos enlaces no son simétricos en la utilización de los recursos de la red.

El enlace descendente es aproximadamente 6 veces mayor que el ascendente [Rivera *et al.*, 1999]. Este dato ha sido utilizado como límite para la asignación de las ranuras de bajada por móvil. Esta asignación es realizada de manera aleatoria, donde por cada ranura ocupada por móvil, se puede elegir de una a seis ranuras para este móvil en el enlace de bajada, a excepción de los móviles con servicio CBR, a los cuales se les asigna una ranura ascendente por cada ranura descendente, debido a que es una comunicación simétrica.

El objetivo principal de la implementación del enlace descendente es contar con una estadística a grosso modo de la ocupación de las ranuras de la subtrama descendente, cuya información servirá en lo sucesivo para la asignación de ranuras y el incremento del periodo de contención, aspectos aleatorios en el sistema

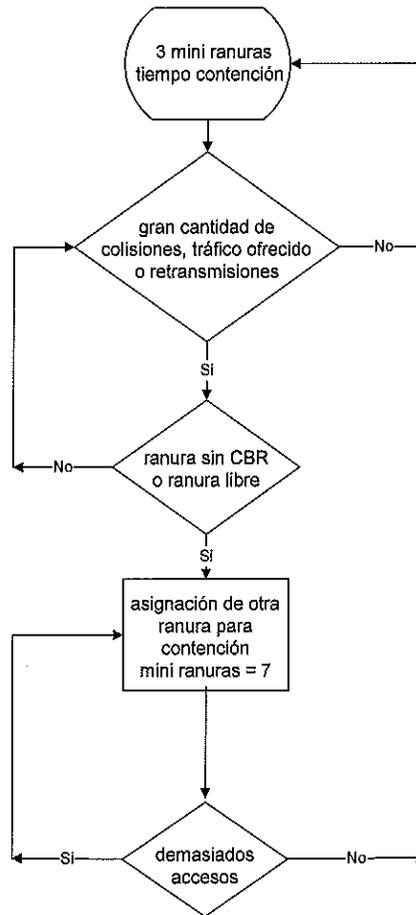
#### ***IV.8 El algoritmo de Asignación Dinámica de Canales de Acceso (ADICA)***

Como se ha mencionado, un aspecto clave en el sistema WATM es solucionar los problemas relacionados con la forma en que se permite el acceso aleatorio a los usuarios, más aún cuando el canal de comunicación es compartido. De esta solución depende el mejor desempeño del sistema, el cual se verá reflejado en una calidad de servicio adecuada. Es conveniente entonces estudiar una alternativa de solución, tal como la asignación dinámica de canales de acceso aleatorio, para determinar la factibilidad de mejora mediante esta opción, aumentando y disminuyendo el periodo de contención para las solicitudes de servicio.

La estación base es el ente que mantiene el control de todo el sistema en la picocelda. De manera centralizada, esta determina el procedimiento a seguir según las condiciones que se vayan presentando al transcurrir el tiempo de operación. También es el elemento que contiene la mayor cantidad de información y además realiza la mayor cantidad de proceso, por lo cual gracias a su capacidad, esta contiene la parte más compleja de operación del sistema, como son el control y la administración.

La estación base sólo puede obtener información sobre el sistema a través de la información que arriba a ésta por medio de los paquetes de petición y de los paquetes de datos, con la que realiza una estadística de operación. Para determinar si es necesario el aumento del periodo de contención (incrementando las mini ranuras de 3 a 7), la estación base puede utilizar la información acerca de la cantidad de paquetes arribados, la cantidad de retransmisiones arribadas, la cantidad de tramas con colisiones y el aprovechamiento del sistema, todos estos aspectos son estudiados durante lapsos de tiempo o muestreo realizados de manera continua. El algoritmo de asignación dinámica de canales de acceso (ADICA) está basado principalmente en

los aspectos anteriores, su diagrama de flujo puede observarse en la Figura 24 y su operación se describe a continuación.



**Figura 24. Asignación dinámica de canales para acceso aleatorio**

#### IV.8.1 ADICA via cantidad de tramas con colisiones

La cantidad de tramas con colisiones, es un aspecto evaluado mediante la ausencia de recepción de paquetes de petición, lo cual refleja a primera instancia un evento donde las solicitudes de los usuarios se han destruido en su intento por arribar a los servicios del sistema, cuando se tiene el antecedente de que el sistema estaba siendo utilizado.

Para esto se ha tomado como referencia un muestreo continuo cada 5 tramas. Si existe la misma cantidad de tramas con ‘colisiones’, es un indicativo para incrementar las mini ranuras de acceso, debido a que es un tiempo considerable para anticipar la congestión del sistema.

El aumentar las mini ranuras partiendo de que existen tal cantidad de colisiones, aún sin realizar una medición de señal de interferencia que lo confirme, posibilita a la estación base utilizar sus recursos como entidad controladora y ofrecer una posibilidad mayor a los usuarios para el arribo de sus respectivos paquetes de petición. Si una vez aumentadas, la recepción de paquetes no ha sido lograda, se interpreta al sistema en un estado ocioso.

#### IV.8.2 ADICA via cantidad de retransmisiones recibidas

Para evaluar los aspectos en base a la carga de tráfico se ha recurrido a los resultados de operación arrojados por el modelo que no incluye la asignación dinámica de canales. Como se presentará posteriormente, es conveniente incrementar el periodo de contención cuando se cuenta con aproximadamente un paquete de petición por trama, lo cual significa que la cantidad de tráfico es lo suficientemente grande para ejecutar el aumento.

La evaluación de la cantidad de retransmisiones recibidas es realizada mediante el análisis del campo NT de los paquetes de petición recibidos en la base. Los paquetes de petición que son producto de una retransmisión contienen un uno en este campo. Se utilizan dos maneras para evaluarlo: cantidad de retransmisiones recibidas, cantidad de retransmisiones recibidas por tipo de tráfico.

Para conocer la situación y tendencias del tráfico ofrecido en el sistema, se muestrea de manera continua cada 5 tramas. Si existe la misma o mayor cantidad de retransmisiones recibidas de tipo de tráfico de alta prioridad (CBR, rt-VBR) o de tráfico de baja prioridad (nrt-VBR, ABR, UBR) que el número de tramas, representa la necesidad de incrementar las mini ranuras de contención, antes de que el arribo de las solicitudes continúe deteriorándose más, debido a que las retransmisiones son el resultado de colisiones.

Para la evaluación en base a la cantidad de retransmisiones recibidas, el procedimiento es similar al anterior, con la diferencia de que se realiza un conteo general de las retransmisiones recibidas durante el muestreo continuo de 10 tramas, donde si existiera la misma o mayor cantidad de paquetes retransmitidos que el total de tramas muestreadas, se tiene el indicativo de una tasa alta de retransmisión y la necesidad de incrementar el periodo de contención.

#### **IV.8.3 ADICA via cantidad de paquetes de petición recibidos**

El último de los aspectos evaluados para determinar la necesidad de incrementar el periodo de contención es la supervisión del total de paquetes de petición recibidos en la estación base. Tomando como referencia la cantidad de un paquete de petición por trama, lo que significaría riesgo de congestión, se muestrea de manera continua cada 11 tramas, donde si existieran 10 ó más paquetes de petición recibidos en la estación base, se tendría el indicativo de una tasa alta de tráfico ofrecido y se necesitaría un aumento de mini ranuras.

#### **IV.8.4 Supervisión del aprovechamiento de los canales de acceso**

El sistema WATM debe aprovechar al máximo los recursos disponibles sin descuidar la QoS, por lo que debe vigilar que una vez ejecutado el incremento del periodo de contención, este incremento continúe siendo necesario. Para realizar dicha evaluación, se mide el tiempo de interarribo de las peticiones y se muestrea también de manera continua cada 15 tramas la cantidad de paquetes de petición arribados por trama. Si la cantidad de tráfico disminuye o es poca (una tasa inferior a un paquete por trama o un tiempo interarribo de paquetes muy grande), se presenta el indicativo de disminución del periodo de contención para ubicarlo de nueva cuenta en su estado original de tres mini ranuras de contención.

#### **IV.8.5 Supervisión del aprovechamiento de las ranuras de transmisión**

Para la ejecución de un incremento del periodo de contención, la estación base requiere utilizar una de las ranuras destinadas originalmente para la transmisión de información, por lo cual se supervisa la ocupación de las ranuras adyacentes al periodo de contienda, una ubicada en el enlace descendente previa al periodo de contienda y la otra ubicada luego del periodo de contención, en el enlace ascendente (ver Figura 21).

Con las consideraciones anteriores, el modelo puede operar de dos maneras, la primera, con operación conocida como normal y que consiste solo de tres mini ranuras de acceso aleatorio y la segunda, que contempla el incremento de estas mini ranuras de acceso, incorporando cuatro a la cantidad existente para obtener un total de siete mini ranuras para la contención. El incremento de mini ranuras tiene el compromiso de sacrificar una de las ranuras que hasta ese momento servía para la transmisión de paquetes de subida de los móviles a la base, convirtiéndola en ranura de acceso aleatorio.

Para realizar esta acción, una vez que se tienen las condiciones para el aumento de las mini ranuras de contención, se procede a liberar la ranura si esta se encuentra ocupada, siempre que se trate de una asignación de ranura a un usuario de tráfico diferente a CBR o RT-VBR, quitando el paquete destinado a la ranura adyacente al periodo de contención y colocándolo en la cola del *buffer* para continuar con su procesamiento.

Debido a que generalmente esta ranura era asignada a un tipo de servicio UBR o ABR, no se tiene un efecto significativo en las aplicaciones vulnerables al tiempo y se reduce en uno la cantidad de ranuras para la transferencia de los paquetes de subida (o en su defecto a los paquetes de bajada).

#### IV.8.6 Desplazamiento del umbral entre los enlaces (subtrama descendente y ascendente)

Con la información obtenida de la supervisión del aprovechamiento de los canales de acceso y de las ranuras utilizadas para la transmisión de información móviles-base-móviles, se procede a implementar un algoritmo que contribuya a mejorar el aprovechamiento de los recursos del sistema (como el ancho de banda).

Este algoritmo tiene como objetivo principal, mantener un equilibrio entre las dos subtramas (ascendente y descende) involucradas en el esquema TDMA/TDD, de tal forma, que cuando existiesen mayor cantidad de ranuras libres en cualquiera de las subtramas el umbral se coloque en un punto tal que permita tener la misma cantidad de ranuras libres para las dos subtramas.

Este desplazamiento traería consigo un mejor aprovechamiento para cualquiera de las dos subtramas, dado que a ciertos escenarios de tráfico, los enlaces mantienen una ocupación de ranuras diferente, tal como sucede en la mayoría de los casos con el enlace descendente, el cual tiende a ser mayor que el enlace ascendente. Esto permitiría que el enlace descendente pueda aprovechar algunas ranuras que el enlace ascendente desaproveche.

Para su operación, el algoritmo de desplazamiento del umbral realiza muestreos continuos de 20 tramas para revisar la ocupación de las ranuras en ambas subtramas; si al término de este muestreo, uno de los enlaces mantuvo una cantidad de ranuras libres superior al enlace contrario, el umbral es colocado en una ranura tal que mantenga la misma cantidad de ranuras libres para los dos enlaces, ascendente y descendente.

Con esta revisión continua de ranuras ocupadas se tiene la flexibilidad de mantener el umbral en su posición original (ranura 33) en el centro de la trama, cuando la cantidad de tráfico ofrecido sea enorme, asignando adecuadamente las ranuras correspondientes a los usuarios solicitantes de servicio. Toda esta operación permite tener un algoritmo de umbral asignado en demanda de servicio.

#### IV.8.7 Requerimientos del Algoritmo ADICA

La implementación del algoritmo requiere los elementos mencionados a continuación:

- Obtención de la cantidad de retransmisiones a través del campo “NT” de los paquetes de petición por cada trama.
- Obtención de la cantidad de paquetes de petición por trama.
- Supervisión de colisiones vía no recepción de paquetes.
- Obtención de la cantidad de mini ranuras aprovechadas cuando se ha efectuado el incremento para conocer el estado que guardan.
- Supervisión de la ocupación de ranuras adyacentes a la etapa de contienda.
- Supervisión de la ocupación de las ranuras en las dos subtramas de transmisión.

## ***IV.9 Resumen***

Se describe la operación del Sistema WATM y sus características con los trabajos previos incorporados al mismo. Se presenta el algoritmo de asignación dinámica de canales de acceso aleatorio con una descripción detallada sobre los aspectos evaluados para determinar la cantidad de tráfico manejada por el sistema bajo distintas condiciones como son la cantidad de colisiones, la cantidad de retransmisiones recibidas y la cantidad de paquetes de petición recibidos. Se enlistan los requerimientos del sistema para la implementación del algoritmo de asignación dinámica de canales de acceso, incluyendo el desplazamiento del umbral entre subtramas y se mencionan las condiciones necesarias para el incremento y decremento de las mini ranuras de contención. Además se contemplan evaluaciones sobre el aprovechamiento del periodo de contención, así como de la ocupación de las ranuras adyacentes al periodo de contienda, en los enlaces ascendente y descendente.



### **V.1 Introducción**

Con fines de comparación e integración de trabajos previos, el algoritmo de asignación dinámica de canales de acceso ha sido implementado en el modelo ATM inalámbrico, junto con el calendarizador desarrollado por [de la Fuente, 1999] incorporando además el algoritmo de retransmisión basado en prioridad por potencia desarrollado por [Flores, 2000] y las recomendaciones sobre el efecto captura presentadas por [Sánchez y Smith, 1999].

El análisis del desempeño del protocolo MAC propuesto incluyendo los algoritmos de prioridad de potencia y de asignación dinámica de canales de acceso, se realizó en base a los parámetros de probabilidad de recepción, caudal eficaz (*throughput*), cantidad de retransmisiones recibidas en la estación base, retardo promedio en el servicio por tipo de tráfico y capacidad de soporte de usuarios.

Las consideraciones para la simulación son las siguientes:

- Los móviles se encuentran dentro de una picocelda con radio de 200 m.
- Los móviles se encuentran fijos y equidistantes a la estación base.
- La cantidad de usuarios por tipo de servicio está balanceada en todo el sistema.
- No existen obstáculos en la picocelda.
- La estación base incluye el efecto captura.
- Se cuenta con asignación dinámica de canales de acceso.
- Se cuenta con retransmisión basada en prioridad por potencia.
- El desvanecimiento considerado es tipo Rician.

Las características y capacidad presentadas por la herramienta de simulación OPNET permiten que sea completamente funcional para implementar, analizar y simular el algoritmo dentro del protocolo MAC propuesto.

## V.2 Modelo de red

Se cuenta con una red inalámbrica compuesta por una cantidad de móviles dentro de una picocelda de 200 metros de radio y una estación base (ver Figura 25). Cada uno de los móviles conforma un nodo, el cual contiene procesos asociados. Los nodos corresponden a los diferentes tipos de tráfico, por lo que se tienen nodos CBR, rt-VBR, nrt-VBR, ABR, UBR; existe la misma cantidad de nodos para cada uno de los diferentes tipos de tráfico y una estación base. La cantidad de nodos es variada (desde cero hasta un máximo de 250 nodos, tal como se muestra en la Tabla V) para contar con diferentes escenarios de tráfico ofrecido.

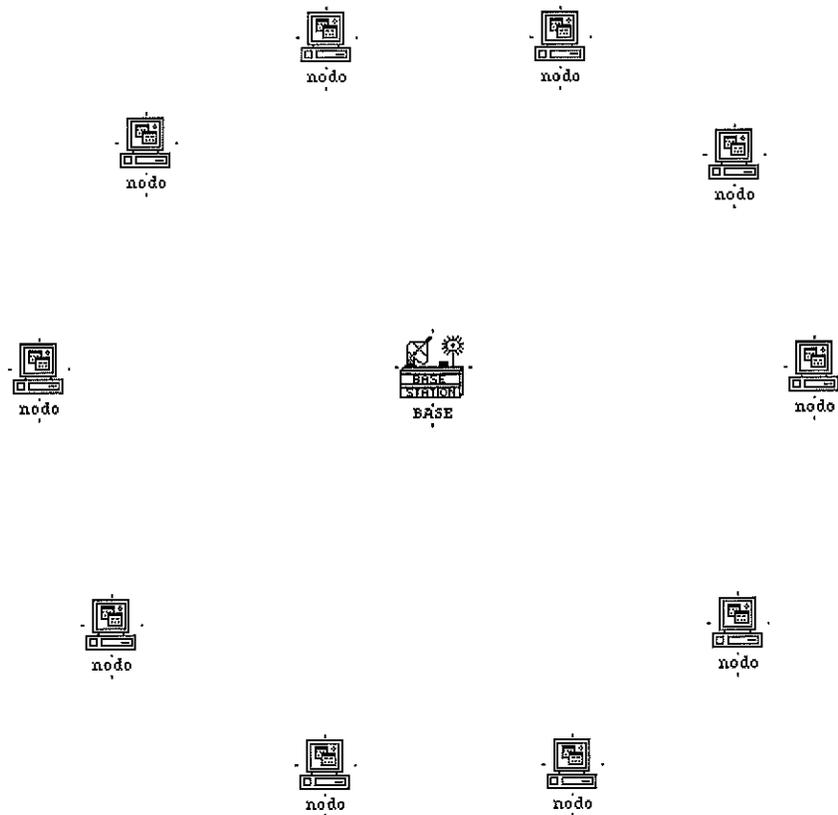


Figura 25. Sistema ATM inalámbrico

**Tabla V. Cantidad de usuarios por número de corrida**

<b>Número de corrida</b>	<b>Cantidad de usuarios</b>	<b>Número de corrida</b>	<b>Cantidad de usuarios</b>
1	0	9	135
2	5	10	140
3	25	11	145
4	50	12	150
5	75	13	175
6	100	14	200
7	125	15	225
8	130	16	250

### ***V.3 Modelo de nodos***

Cada uno de los elementos que integran la red tiene un modelo de nodo asociado. Dada la ventaja permitida por OPNET para la reutilización del mismo tipo de nodos, es posible tener varios nodos con las mismas características del tipo de servicio.

#### **V.3.1 Nodo de Base**

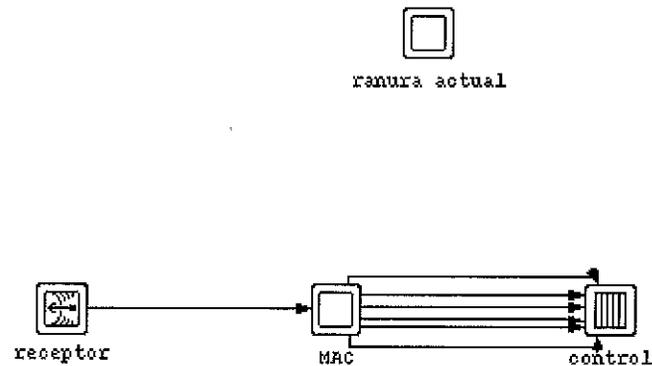
Este consiste de un receptor por el cual se reciben los paquetes enviados a la base (Figura 26). A este elemento se le tienen que especificar los parámetros del canal de radio como frecuencia de operación, ancho de banda, ganancia, entre otros. Si el paquete recibido cumple con las características especificadas es enviado al siguiente proceso, de lo contrario será desechado.

En el proceso MAC el paquete es procesado de acuerdo al tipo de información que contiene. Si es una petición es enviada por tipo de servicio hacia el siguiente elemento que pertenece al control. En este elemento se implementó el algoritmo de asignación dinámica de canales de acceso, el cual requiere información del proceso control. Si se tratara de un paquete de transmisión, solo es analizado para fines estadísticos y es destruido. En el proceso control se realiza la asignación de las ranuras, la generación del mensaje de difusión y del tráfico de bajada.

El proceso de ranura actual corresponde a la sincronización del sistema TDMA, con información requerida por todos los elementos de la red, indicando el inicio y terminación de la trama.

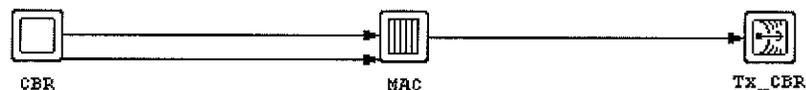
### V.3.2 Nodo de usuarios móviles

Los cinco tipos diferentes de nodo tienen un proceso semejante en el elemento MAC y en el transmisor. Difieren únicamente en la generación de tráfico y de solicitudes, debido a que estas dependen del tipo de tráfico de información que procesan.



**Figura 26. Diagrama de nodos de la estación base**

El proceso generador crea los paquetes que son enviados a la cola MAC en segmentos iguales a las celdas de ATM. La MAC realiza las actividades de recepción del paquete de difusión, calendarización de transmisión en las ranuras asignadas y el apilamiento de los paquetes del generador de tráfico en una cola para su procesamiento (Figura 27). Se cuenta también con un proceso de transmisor al que se especifican características del canal de radio, como potencia, ancho de banda, frecuencia de operación, etc.



**Figura 27. Diagrama de nodos en un usuario móvil**

#### V.4 Modelo de procesos

Corresponde a la parte que contiene el código y las transiciones a través de estados, donde se definen las actividades a realizar por cada módulo. Cada estado realiza una actividad diferente y son además independientes entre sí. Se programan en el lenguaje Proto-C, el cual además permite utilizar los comandos y sentencias del lenguaje C. Proto-C contiene funciones del Kernel especificadas para el modelado de sistemas de telecomunicaciones. Las transiciones pueden ser utilizadas como condiciones entre los estados, para indicar la trayectoria de ejecución. Como ejemplo, en la Figura 28 se muestra el modelo de procesos del nodo de control localizado en la estación base.

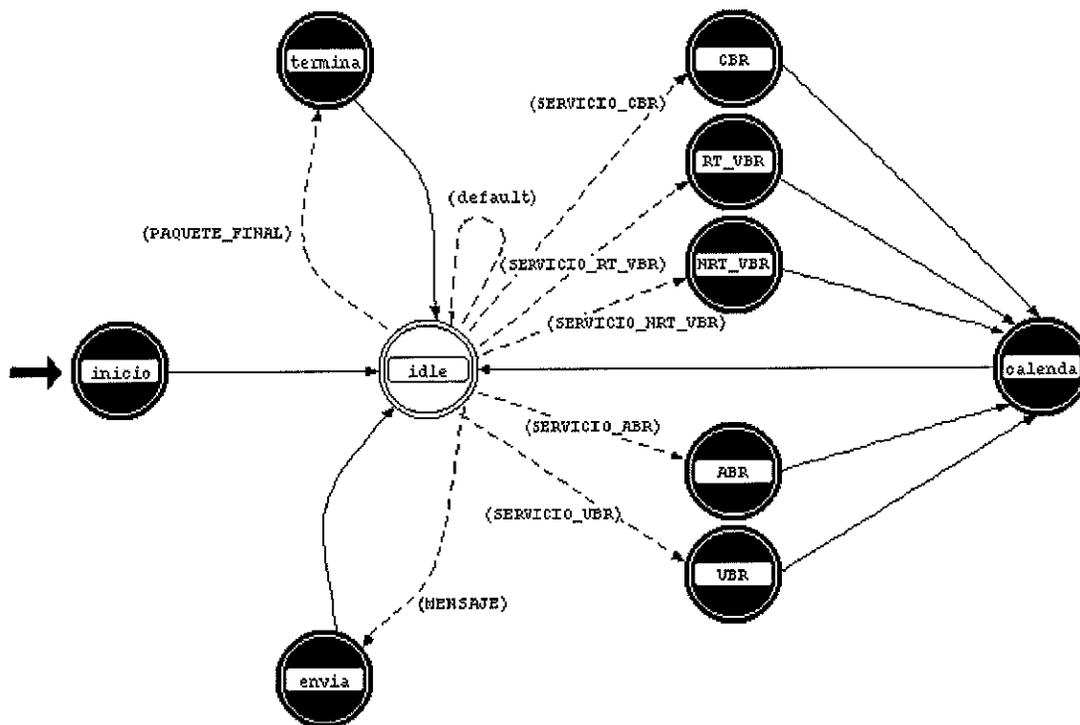


Figura 28. Modelo de procesos en el nodo control de la base

## V.5 Parámetros de simulación

### V.5.1 Caracterización del tráfico

Como se ha mencionado, se emplearon cinco tipos de fuentes de tráfico. Estos pertenecen a las distintas aplicaciones multimedios como son: transferencia de archivos, canal de voz digitalizada (por ejemplo PCM a 64 kbps), video comprimido, transferencia de imágenes, correo electrónico, entre otros. Los parámetros utilizados para generar este tipo de tráfico son los siguientes:

**Tabla VI. Características del tráfico**

Parámetro	Tipo de tráfico				
	CBR	RT-VBR	NRT-VBR	ABR	UBR
Tasa de transmisión	64 kbps				
Conexiones por hora	30				
Duración media de la 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 del paquete			10 kbits	10 kbits	10 kbits
Intervalo entre ráfagas			0.5 seg.	0.5 seg.	0.5 seg.

El tráfico CBR es simulado por una llamada en un canal de voz PCM. Es conveniente mencionar que la generación de tráfico VBR de tiempo real está basada en un directorio que contiene una lista de trazos que fueron tomados en un experimento de codificación de secuencias de video real [de la Fuente, 1999].

El tráfico de tasa variable de no tiempo real, es generado mediante una función exponencial. La tasa de arribo de estos paquetes corresponde a una función de Poisson, por lo que el intervalo entre los paquetes también corresponde a una función de probabilidad exponencial. El tráfico ABR y UBR se comportan de manera muy similar. El MCR (tasa de celdas mínima) 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, sin embargo, para que se cuente con una referencia del ancho de banda necesario por este servicio en un instante de tiempo, se utiliza el PCR.

### V.5.2 Características del canal de radio

En la etapa de simulación se utilizaron los siguientes parámetros especificados en los elementos transmisor y receptor.

**Tabla VII. Características del canal de radio**

Característica	Parámetro
Velocidad de transmisión	23 Mbps
Modulación utilizada	GMSK
Potencia de transmisión máxima	0.16 watts
Frecuencia de la portadora	6 GHz
Ancho de banda utilizado	23 Mhz

Como puede apreciarse, la velocidad de transmisión representa aproximadamente una cantidad de 691 tramas por segundo. La potencia de transmisión tiene un nivel de potencia adecuado para el tipo de acceso y el espectro de operación está situado en la banda de los 6 GHz.

## V.6 Escenarios de Simulación

### V.6.1 Modelo WATM sin aumento de mini ranuras

Este es el modelo básico y tal como su nombre lo indica, no contempla un incremento en el tiempo de contención, por lo que mantiene en toda la operación del sistema, una cantidad de tres mini ranuras utilizadas para la contienda. De este modelo se obtuvo la información necesaria para establecer las condiciones de tráfico en las cuales debería efectuarse el aumento de mini ranuras. Este modelo se utiliza también para analizar las posibles mejoras ofrecidas por la implementación de la asignación dinámica de canales de acceso aleatorio en el sistema WATM.

#### V.6.2 Modelo WATM con asignación dinámica de mini ranuras de acceso con aumento de mini ranuras dependiente del tráfico manejado (ADICAC)

Este modelo, a diferencia del anterior, si contempla la asignación dinámica de canales de acceso, la cual permite incrementar el periodo de contención aumentando la cantidad de tres mini ranuras a un total de siete. Esta asignación se realiza dependiendo de la cantidad de tráfico manejada, por lo que de requerirse el aumento del periodo de contienda, se mantendrá la cantidad de siete mini ranuras de contención mientras el tráfico sea alto, disminuyendo el periodo de contención (y por consiguiente disminuyendo la cantidad de mini ranuras a tres) cuando el tráfico sea bajo.

#### V.6.3 Modelo WATM con asignación dinámica de mini ranuras de acceso con aumento temporal de mini ranuras de acceso (ADICAT)

Este modelo, al igual que el anterior, emplea la asignación dinámica de canales de acceso, pero de presentarse la necesidad de aumentar el periodo de contienda debido a la cantidad de tráfico manejada por el sistema WATM, el aumento de mini ranuras para la contención unicamente se mantiene por un lapso de tiempo fijo, luego del cual la cantidad de mini ranuras disminuye a su valor inicial de tres. De requerirse nuevamente el aumento de mini ranuras, este se realiza de nueva cuenta, manteniendo el aumento por un lapso de tiempo, para luego disminuir la cantidad de mini ranuras a un total de tres, y continua con esta forma de operación sucesivamente

#### V.6.4 Modelo WATM con asignación dinámica de mini ranuras de acceso y desplazamiento del umbral entre subtramas (ADICACTM)

Debido a la naturaleza del tráfico y las necesidades de servicio de cada uno de los usuarios, existe generalmente una diferencia en la magnitud de información manejada por los enlaces ascendente y descendente. Esto permite inferir que los recursos del sistema pueden ser mejor aprovechados si se otorga mayores recursos al enlace que así lo requiera, como sucede en la mayoría de los casos para el enlace descendente, ya que se ocuparían ranuras de tiempo que podrían estar inutilizadas. Este modelo incluye el desplazamiento del umbral, el cual mantiene un equilibrio en la cantidad de ranuras libres para ambos enlaces (subtramas), lo cual otorga mayores recursos al enlace que así lo requiera dependiendo del tráfico manejado por el sistema y también la asignación dinámica de canales de acceso.

## V.7 Análisis de resultados

### V.7.1 Parámetros medidos en las simulaciones

- ❑ Tráfico generado por los usuarios
- ❑ Tráfico recibido en la estación base
- ❑ Caudal eficaz (*throughput*)
- ❑ Paquetes de petición enviados y recibidos
- ❑ Paquetes de petición colisionados
- ❑ Paquetes de petición retransmitidos recibidos
- ❑ Retardo promedio de los paquetes de información
- ❑ Ocupación de las ranuras utilizadas para la transmisión

Cabe mencionar que todas las simulaciones fueron realizadas con un tiempo de simulación de 200 segundos, el cual es un tiempo conveniente que responde a un compromiso entre un tiempo suficientemente grande, para obtener estabilidad del sistema y un tiempo real de simulación suficientemente bajo (algunas horas).

### V.7.2 Análisis de resultados

El tráfico ofrecido por los usuarios al sistema en la etapa de acceso al medio, puede dividirse en dos grupos. El primero de ellos nombrado  $G_r$ , hace referencia al tráfico de carácter sensible al tiempo, como lo son el CBR y el rt-VBR. El otro grupo es nombrado  $G_a$ , el cual se refiere al tráfico ofrecido por los tipos de tráfico restantes como son nrt-VBR, ABR y UBR, los cuales no son sensibles al tiempo. Dadas las características de estos tipos de tráfico, se prevé mayor la cantidad de tráfico proveniente de los usuarios de aplicaciones en tiempo real. Esta separación de tráfico ofrecido, permite un análisis más detallado acerca de las condiciones presentadas en el sistema. El tráfico total ofrecido está expresado de la manera siguiente

$$G_T = G_r + G_a \quad (3)$$

### V.7.2.1 Probabilidad de recepción de paquetes de petición

La probabilidad de que un paquete de petición logre arribar durante la contienda a la estación base está determinada por la siguiente expresión

$$Prx = \text{Total de peticiones recibidas} / \text{Total de peticiones transmitidas} \quad (4)$$

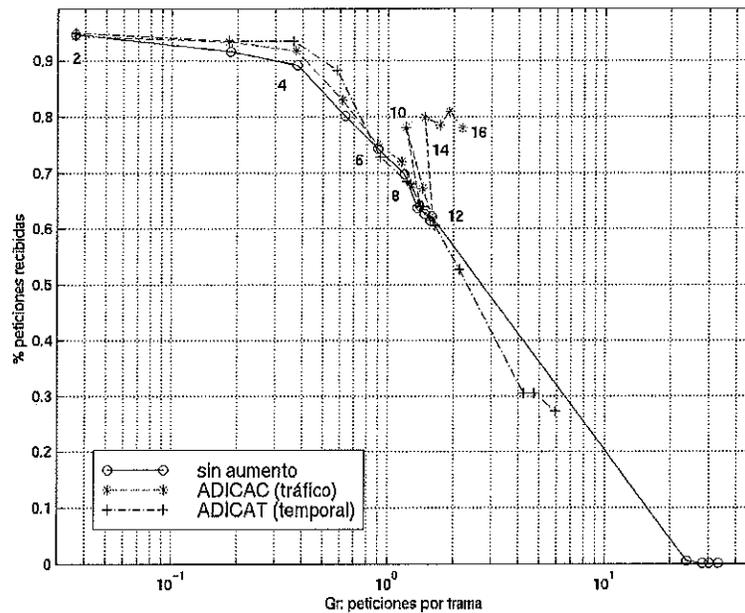
Como se puede apreciar en la Figura 29, la peor probabilidad de recepción de solicitudes pertenece al modelo WATM que no incluye el aumento del periodo de contienda. Este modelo comienza a presentar un deterioro considerable de probabilidad de recepción cuando el sistema maneja un tráfico ofrecido de orden igual o mayor a 0.8 paquetes de petición por trama. Esta información sirve de referencia para implementar la asignación dinámica de canales de acceso, aumentando y disminuyendo la cantidad de mini ranuras en la etapa de contención, en sus dos versiones, dependiente del tráfico y temporal.

Al aumentar el tráfico ofrecido al sistema<sup>8</sup> (aumentando la cantidad de usuarios móviles en el sistema WATM), la probabilidad de recepción de peticiones disminuye debido principalmente a que existe más cantidad de paquetes de petición conteniendo por el canal. Esto provoca que las peticiones no exitosas sean retransmitidas, aumentando el tráfico manejado en el medio.

Como se puede apreciar, la asignación dinámica de canales de acceso ofrece mayor probabilidad de recepción, tal como se muestra en la gráfica, donde para el modelo **ADICAC** (aumento de mini ranuras dependiente del tráfico) se tiene la mayor probabilidad de recepción de peticiones para las diferentes cantidades de tráfico ofrecido, mientras que para el modelo **ADICAT** (aumento de mini ranuras temporal), la probabilidad de recepción de peticiones es mayor que el modelo sin aumento de mini ranuras, pero inferior a la probabilidad presentada por el modelo **ADICAC**, además de que la probabilidad decrece en la misma proporción al modelo sin aumento de mini ranuras conforme se incrementa el tráfico ofrecido.

---

<sup>8</sup> En las gráficas pueden observarse números correspondientes a las corridas de la simulación, los cuales hacen referencia a la cantidad de usuarios en el modelo según la información presentada en la Tabla V.



**Figura 29. Comparación de la probabilidad de recepción en los modelos WATM**

Otro aspecto importante es que el modelo **ADICAC** mantiene una probabilidad mínima de recepción de peticiones del 62% para cualquier cantidad de tráfico ofrecido (o de cualquier número de usuarios) permitido por el sistema. Este modelo no alcanza los valores de tráfico ofrecido presentados por los otros modelos, ya que no presenta tantas colisiones, evitando una gran pérdida de peticiones y disminuyendo la cantidad de retransmisiones.

Además, se observa que la mayor cantidad de tráfico ofrecido pertenece a los usuarios de tipo de tráfico sensible al tiempo, esto representa serios compromisos de calidad de servicio que tendrían dificultad de cumplirse si la probabilidad de recepción es baja. Es precisamente por esta razón que el aprovechamiento del sistema depende de los usuarios con servicios de mayor prioridad.

#### **V.7.2.2 Cantidad de colisiones**

La cantidad de colisiones o pérdidas de paquetes de petición, se obtienen mediante la diferencia mostrada en la siguiente expresión

$$\text{Paquetes Colisionados} = \text{Peticiónes enviadas por usuarios} - \text{Peticiónes recibidas en la base} \quad (5)$$

Es conveniente mencionar que la cantidad de peticiónes recibidas son el resultado de una validación previa de paquete (como SNR, BER entre otras) a la que son sometidos todos los paquetes que han sido capturados en la estación base, por lo que el total de peticiónes recibidas es menor o igual al total de peticiónes capturadas por el elemento receptor.

Como puede observarse en la Figura 30, el modelo que no incluye un aumento de mini ranuras en su etapa de contención y el modelo ADICAT, presentan gran cantidad de colisiones conforme el tráfico ofrecido aumenta. Puede observarse además que la mayor cantidad de colisiones se tiene con la mayor cantidad de usuarios.

El modelo ADICAC presenta la menor cantidad de colisiones y por consiguiente, su máxima cantidad de colisiones se tiene a un tráfico ofrecido bajo, debido a que no tiene tantas retransmisiones ocasionadas por la pérdida de paquetes de petición en la contienda.

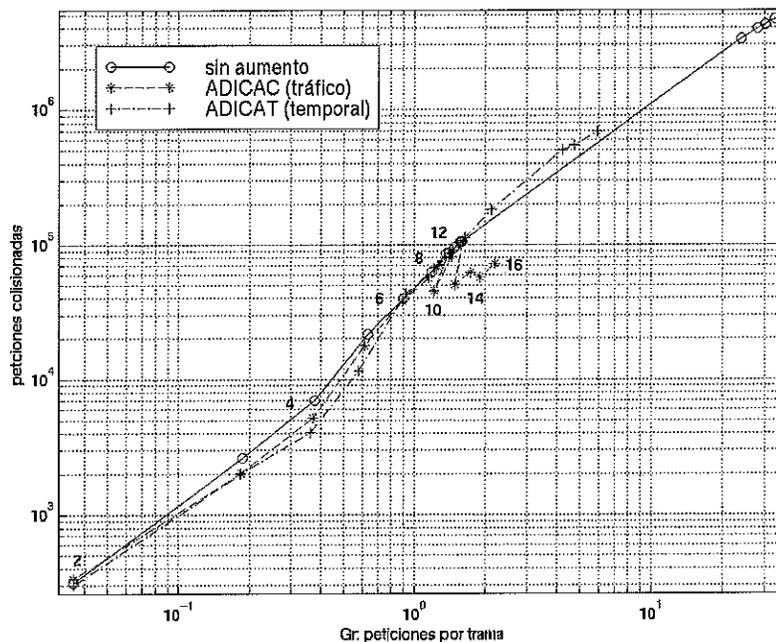


Figura 30. Comparación de la cantidad de peticiones colisionadas en los modelos WATM

### V.7.2.3 Cantidad de peticiones retransmitidas recibidas en la base

Este es un aspecto derivado de la cantidad de colisiones, debido a que si una petición en su intento por arribar a la estación base no tiene éxito, esta deberá retransmitirse mientras la información que contenga sea válida.

Sólo se analizan las retransmisiones recibidas en la estación base, para analizar la capacidad del sistema WATM para otorgar servicio a estas solicitudes. La cantidad de estas retransmisiones se obtiene mediante la expresión

$$\text{Paquetes retransmitidos recibidos} = \sum_{i=1}^j \text{Paquetes retransmitidos} \quad (6)$$

lo cual significa que son contadas todas las peticiones retransmitidas recibidas en la estación base desde el inicio de operación del sistema, hasta la  $j$ -ésima trama de operación, la cual pertenece al tiempo final de la simulación.

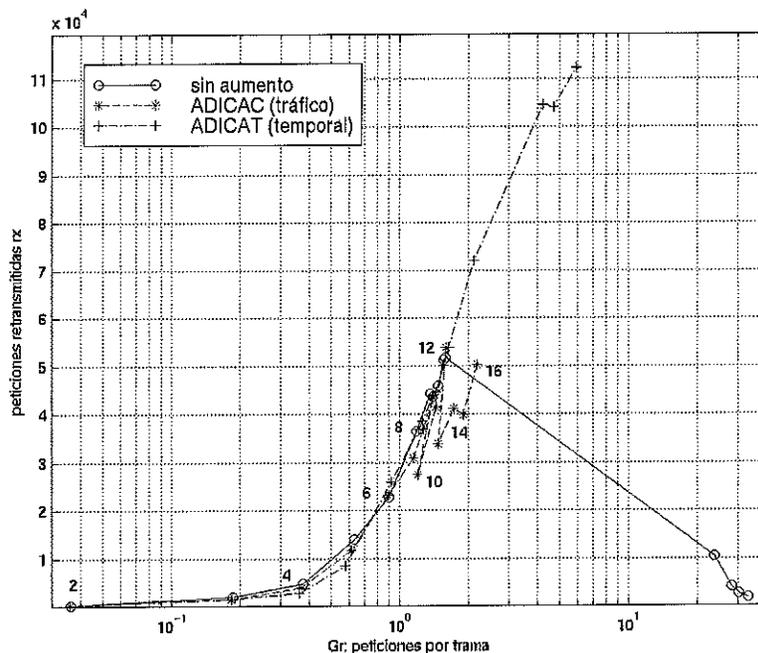


Figura 31. Comparación de las retransmisiones recibidas por la estación base

Como puede apreciarse en la Figura 32 los modelos **ADICAT** y **ADICAC** presentan la mayor cantidad de peticiones retransmitidas recibidas cuando los modelos manejan la máxima cantidad de usuarios (el máximo tráfico ofrecido). Esto significa que ambos modelos ofrecen mayor posibilidad de servicio a los usuarios que colisionaron en su intento por arribar a la estación base. Por su parte, el modelo que no incluye aumento del periodo de contención, reduce la cantidad de recepción conforme aumenta el tráfico ofrecido.

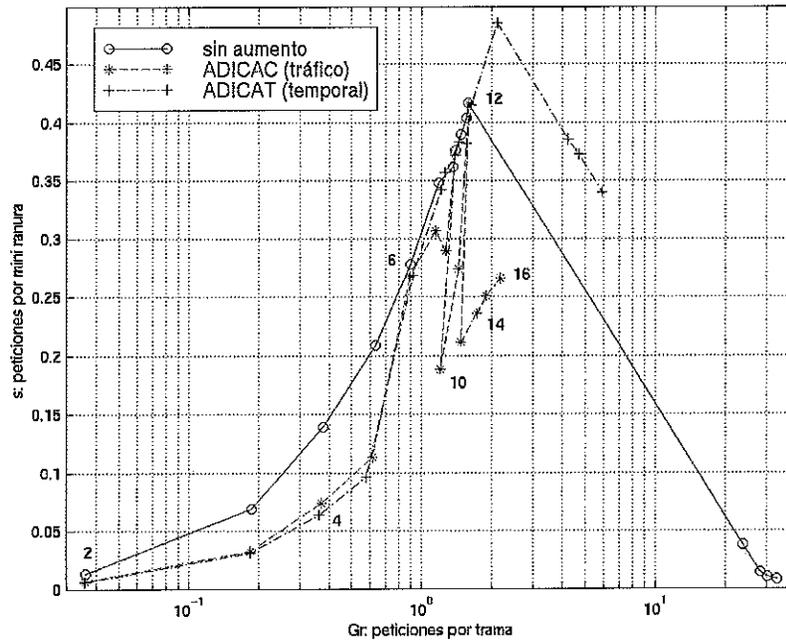
Puede observarse una vez más que el modelo **ADICAC** mantiene el tráfico ofrecido más bajo a la máxima cantidad de usuarios.

#### **V.7.2.4 Caudal eficaz (*throughput*)**

El caudal eficaz es uno de los aspectos más importantes a evaluar en cualquier sistema, ya que refleja el aprovechamiento del mismo. Para el esquema utilizado, el caudal eficaz ofrece información acerca del aprovechamiento de las mini ranuras utilizadas para el acceso de las peticiones de los usuarios móviles. Este se puede obtener mediante la expresión

$$S = \text{total de peticiones recibidas} / \text{total de mini ranuras utilizadas} \quad (7)$$

Como puede observarse en la Figura 32, los modelos **ADICAT** y el modelo sin aumento de mini ranuras de contención, presentan su nivel máximo de caudal eficaz con valores bajos de tráfico ofrecido, esto significa que aprovechan mejor las mini ranuras destinadas a la contienda. Luego el caudal eficaz se decrementa conforme aumenta el tráfico ofrecido debido a que se tienen menos arribos por mini ranuras utilizadas para el acceso, esto fenómeno se presenta porque a mayor tráfico ofrecido, existe mayor probabilidad de colisión, lo que evita el arribo de las peticiones a la base.



**Figura 32. Comparación del caudal eficaz en los modelos WATM**

En cambio, el modelo **ADICAC** presenta bajo caudal eficaz con bajo tráfico ofrecido. Esto se debe a que este modelo mantiene por espacios de tiempo más largos el aumento en el periodo de contención ya que depende de las condiciones de tráfico, y la mini ranuras utilizadas no son aprovechadas completamente. Nuevamente se observa que este modelo no llega a niveles de tráfico ofrecido muy grandes como los otros modelos con la máxima cantidad de usuarios, esto permite prever que el sistema podría soportar mayor cantidad de tráfico para aprovechar mejor las mini ranuras de contención.

#### V.7.2.5 Soporte de usuarios

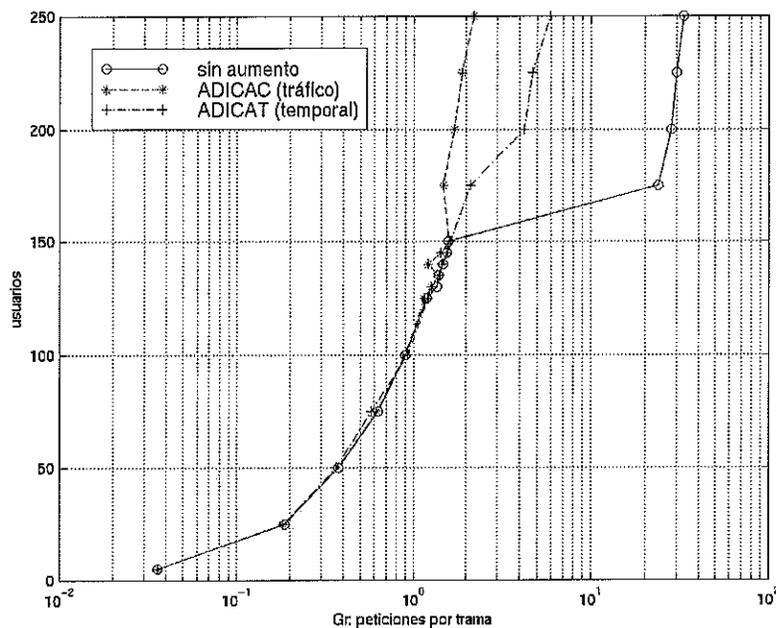
Otro de los aspectos interesantes por evaluar en los modelos, es la cantidad de usuarios. Esta cifra se ha preestablecido por modelo para obtener los diferentes escenarios de simulación, lo cual además presenta los diferentes niveles de tráfico ofrecido.

Debido a que el esquema utilizado tiene destinados 8 bits para la asignación del canal virtual (WVCI) a los usuarios móviles, se cuenta con la posibilidad de asignar un máximo de 256

canales virtuales, de los cuales solo se asignan 250 WVCI's dejando los restantes para uso exclusivo de la administración del sistema (señalización, pruebas o uso futuro).

Por esto, la cantidad máxima de usuarios con conexión simultánea en un modelo puede ser 250, o en su caso una menor cantidad de usuarios con diferentes aplicaciones cada uno como podrían ser 50 usuarios con 5 aplicaciones simultáneas cada uno.

Como se puede observar en la Figura 33, el tráfico ofrecido se incrementa conforme el número de usuarios aumenta. Los tres modelos comparados mantienen un tráfico ofrecido similar y pequeño hasta la cantidad de 125 usuarios, mayor cantidad de usuarios provoca en los modelos sin aumento de mini ranuras y **ADICAT**, un incremento considerable de tráfico ofrecido, debido a los problemas derivados de la baja probabilidad de recepción de peticiones a cantidades superiores de usuarios como son las colisiones y retransmisiones.



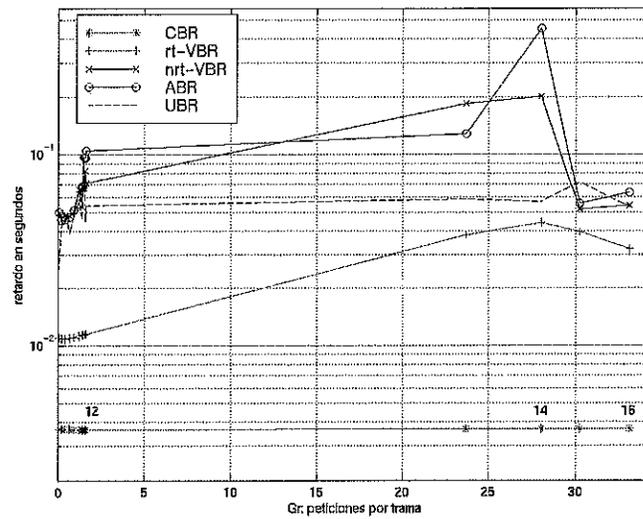
**Figura 33. El soporte de usuarios en los modelos WATM**

En cambio, el modelo **ADICAC** mantiene un valor relativamente bajo de tráfico ofrecido a la máxima cantidad de usuarios, lo que refleja un buen desempeño en la recepción de paquetes de petición, evitando así la gran cantidad de colisiones y retransmisiones, disminuyendo la cantidad de tráfico ofrecido al sistema. Esto indica que este modelo puede soportar las diferentes cantidades de usuarios sin problemas mayores.

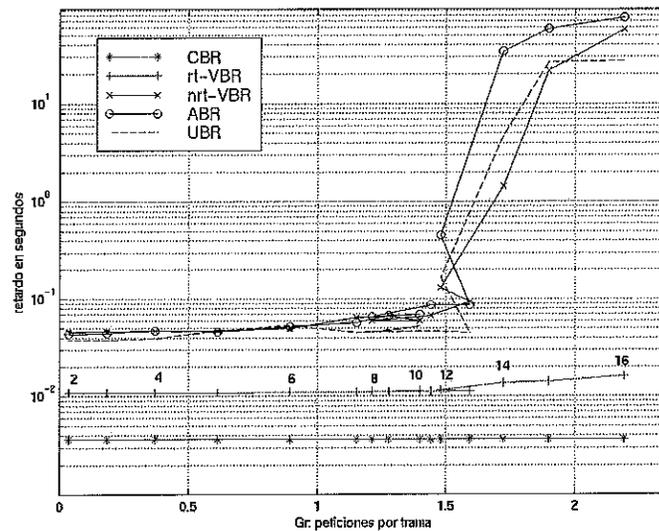
#### **V.7.2.6 Retardo promedio en el servicio por tipo de tráfico**

El aspecto que evalúa el desempeño del sistema en cuanto a la calidad de servicio ofrecida es el retardo en el servicio para la aplicación del usuario. Este retardo es un valor medio, resultado de la diferencia entre el tiempo de aplicación en que la información fue creada y el tiempo en que el usuario transmite su información. Este tiempo involucra desde luego la etapa de contención, después de la cual el móvil puede acceder a los servicios del sistema. Por este motivo, el retardo obtenido es mayor que el retardo de acceso a la base por parte de las peticiones.

En el modelo sin aumento de mini ranuras de contención (Figura 34) se mantiene un valor pequeño de retardo promedio para los servicios de alta prioridad como son CBR y rt-VBR, éste se encuentra en los intervalos permitidos de retardo máximo, de 30-40 ms y 40-90 ms respectivamente. Los servicios menos prioritarios como son nrt-VBR, ABR y UBR mantienen un valor similar hasta un tráfico ofrecido aproximado de 1.1 paquetes de petición por trama. A valores mayores de tráfico ofrecido, los retardos de las aplicaciones de baja prioridad se incrementan considerablemente, observándose el mayor retardo en el servicio para las aplicaciones UBR, las cuales tienen la menor prioridad.



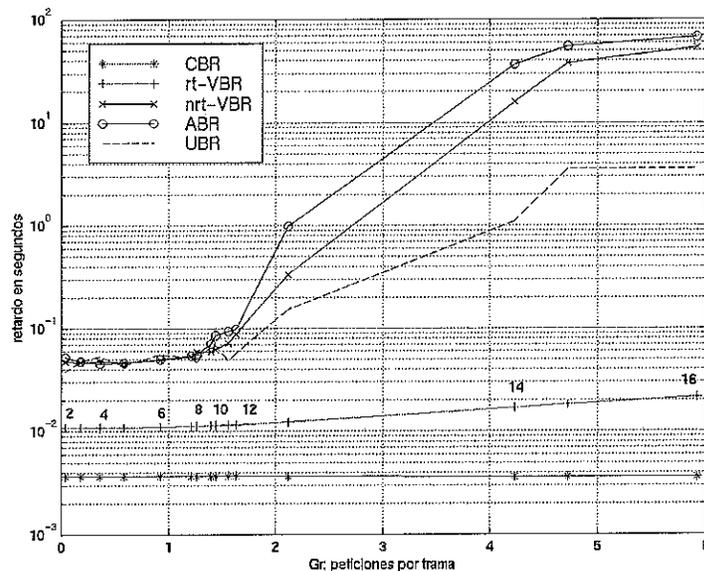
**Figura 34. Comparación del retardo por tipo de tráfico en el modelo sin algoritmo de asignación dinámica de canales de acceso**



**Figura 35. Comparación del retardo por tipo de servicio en el modelo con algoritmo de asignación dinámica de canales con aumento dependiente del tráfico**

En el modelo ADICAC (Figura 35) los retardos en las aplicaciones de mayor prioridad también se mantienen en el intervalo permitido. Para las aplicaciones de menor prioridad, el retardo se mantiene similar y pequeño hasta un tráfico ofrecido de 1.6 paquetes de petición, un valor de tráfico mayor al presentado en el modelo sin aumento de mini ranuras de acceso. También para

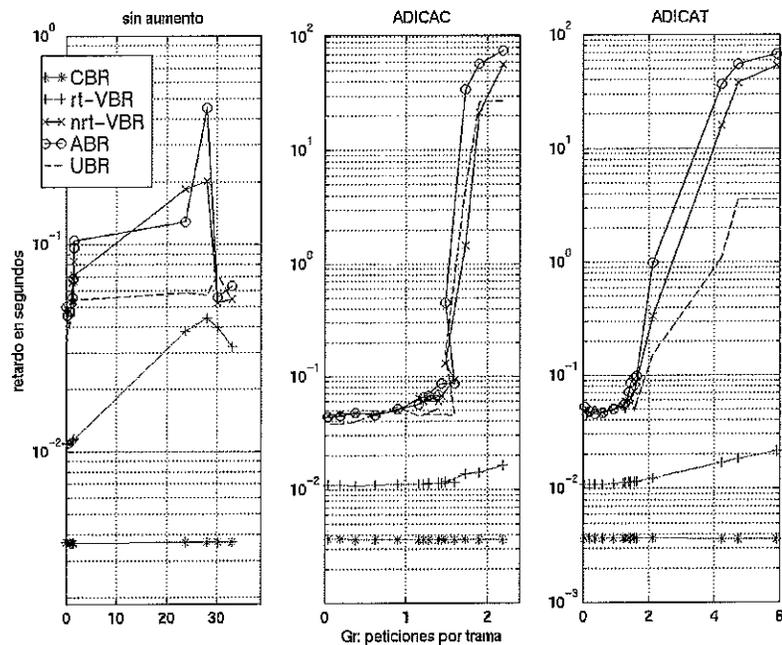
las aplicaciones de baja prioridad, el retardo en el servicio se incrementa con valores mayores de tráfico ofrecido, incluso mucho más que el modelo sin aumento de mini ranuras. Esto se debe a que los valores de retardo promedio presentados, corresponden al último valor medido en las diferentes aplicaciones. Esto permite inferir que los servicios de menor prioridad (incluso algunas peticiones rt-VBR) en el modelo sin aumento de mini ranuras, ya no reciben servicio cuando se maneja una gran cantidad de tráfico ofrecido. Esto se corrobora con el considerable descenso en el retardo del modelo sin aumento de mini ranuras, al manejar el máximo tráfico ofrecido, cuando este retardo debiese ser mayor que los retardos anteriores.



**Figura 36. Comparación del retardo por tipo de servicio en el modelo con algoritmo de asignación dinámica de canales con aumento temporal**

En el modelo ADICAT (Figura 36), el comportamiento en los retardos por tipo de aplicación es un tanto parecido al modelo ADICAC. Los retardos de las aplicaciones de alta prioridad se mantienen en el intervalo permitido y los retardos para las aplicaciones de baja prioridad son similares hasta un tráfico ofrecido aproximado de 1.2 paquetes de petición, un valor inferior de tráfico al presentado en el modelo ADICAC. Al igual que los otros modelos, el retardo para las aplicaciones de baja prioridad aumentan con valores mayores de tráfico ofrecido.

Como se ha podido observar existen dos aspectos interesantes en el análisis del retardo por tipo de aplicación en los tres modelos analizados (ver Figura 37). El primero de ellos es el bajo retardo para las aplicaciones CBR y rt-VBR en cualquiera de los tres modelos, cuyo valor se mantiene para todo valor de tráfico ofrecido.

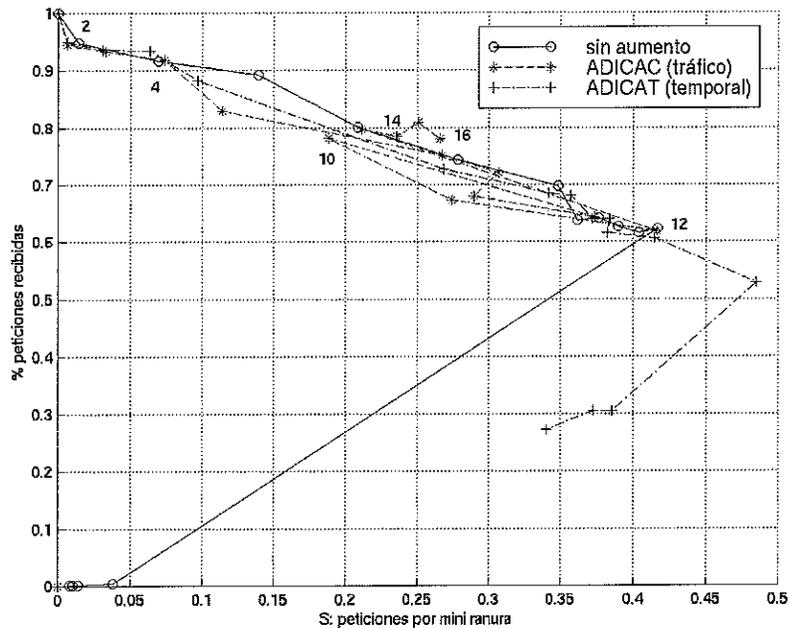


**Figura 37. Comparación del retardo por tipo de servicio en los modelos WATM**

El segundo radica en la diferencia existente en el valor del retardo para las aplicaciones nrt-VBR, ABR y UBR, cuyos valores permanecen similares a bajo tráfico para los tres modelos, pero comienzan a separarse e incrementarse considerablemente a diferentes valores de tráfico ofrecido para cada uno de los modelos analizados. Esto significa que el modelo **ADICAC** y el modelo **ADICAT** mantienen por más tiempo un equilibrio en el retardo conforme la cantidad de usuarios se incrementa, respecto al modelo sin aumento de mini ranuras. De cualquier manera, todos los modelos presentan un retardo adecuado para los diferentes tipos de aplicaciones, con lo cual se logra ofrecer una QoS adecuada.

### V.7.2.7 Caudal eficaz vs probabilidad de recepción de peticiones

Este aspecto permite estudiar las posibles tendencias del sistema para los valores de caudal eficaz, debido a que involucra a la probabilidad de recepción.

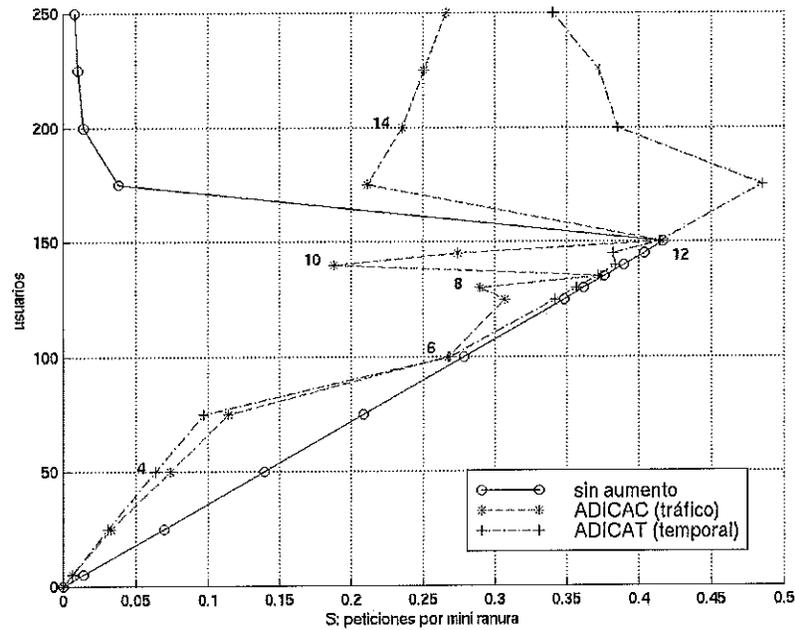


**Figura 38. Comparación de la probabilidad de recepción y el caudal eficaz**

En la Figura 38 se observa que para los tres modelos estudiados, la probabilidad de recepción se decrementa conforme el caudal eficaz aumenta. Destaca que, para cualquier modelo, la probabilidad de recepción se reduce de manera significativa al alcanzar el máximo nivel de caudal eficaz, el cual es diferente para cada uno de los modelos, esta característica no sucede en el modelo **ADICAC**, lo cual permite suponer que dicho modelo no ha llegado a su máximo nivel de caudal eficaz.

### V.7.2.8 Caudal eficaz vs soporte de usuarios

Otro aspecto interesante de las comparaciones con el caudal eficaz, es la cantidad de usuarios soportada en cada uno de los modelos. En la Figura 39 se observa que el caudal eficaz comienza a incrementarse conforme el número de usuarios es mayor en el sistema.



**Figura 39. Comparación de la cantidad de usuarios y el caudal eficaz**

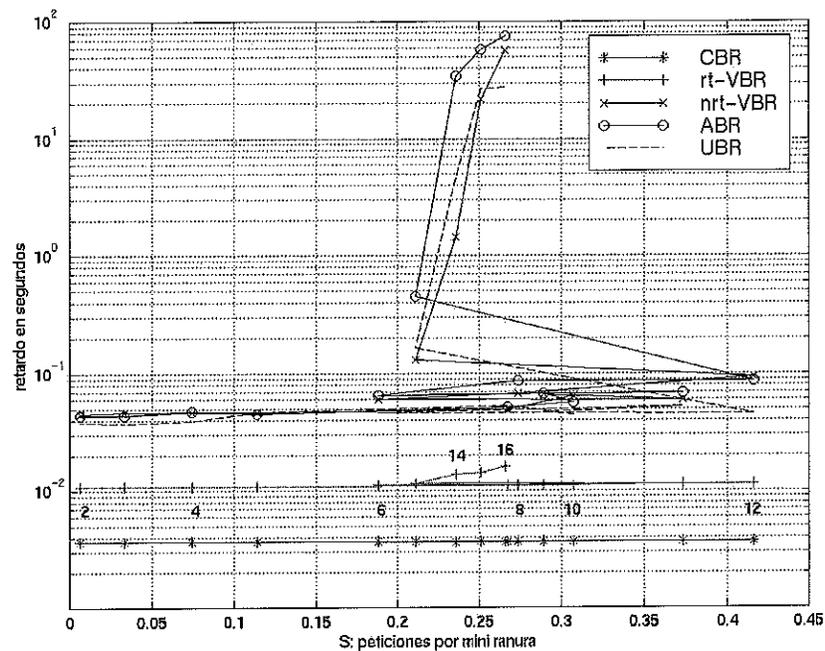
Al llegar a la cantidad aproximada de 150 usuarios, se presentan las mayores diferencias entre los modelos. En esta condición, el modelo sin aumento de mini ranuras llega a su máximo nivel de caudal eficaz, para luego decaer casi hasta un valor de cero con cantidades mayores de usuarios. Para el modelo **ADICAC**, se reduce poco el caudal eficaz, sin embargo este comienza a incrementarse a valores superiores a 180 usuarios hasta un valor de 0.27 con máxima cantidad de usuarios. Mientras que para el modelo **ADICAT**, su máximo caudal eficaz se presenta con 180 usuarios, y con valores superiores de usuarios, el caudal eficaz disminuye hasta un valor de 0.34 con máxima cantidad de usuarios.

Esto significa que el sistema alcanza su máximo *throughput* con la máxima cantidad de usuarios a los cuales puede soportar con servicio adecuado, lo cual representaría que el modelo **ADICAC** aún podría alcanzar valores superiores a los 250 usuarios.

#### V.7.2.9 Caudal eficaz vs retardo en el servicio en el modelo **ADICAC**

Como se puede observar en la gráfica Figura 40, los retardos para las aplicaciones prioritarias permanecen bajos (del orden de milisegundos) para cualquier valor de caudal eficaz. Por su

parte, el retardo en las aplicaciones no sensibles al tiempo se bifurca y crece de manera considerable cuando el sistema ha llegado a su máximo nivel de *throughput*.



**Figura 40. Comparación del caudal eficaz y retardo en el servicio en el modelo ADICAC**

### V.7.3 Comparación de resultados entre la asignación estática y dinámica de canales de acceso aleatorio

En las secciones previas se han podido observar las diferencias y ventajas que presentan cada uno de los modelos analizados en los diferentes aspectos de evaluación del desempeño del sistema WATM. A continuación se enlistan las principales características obtenidas de la comparación entre estos modelos.

**Tabla VIII. Comparación de los principales aspectos evaluados en los modelos con asignación estática y dinámica de canales de acceso aleatorio**

Parámetro	Modelo sin aumento de mini ranuras de contención	Modelo con asignación dinámica de canales de acceso aleatorio aumento dependiente del tráfico (ADICAC)	Modelo con asignación dinámica de canales de acceso aleatorio con aumento temporal de mini ranuras (ADICAT)
Probabilidad de recepción mínima	0%	62%	28%
Cantidad de Colisiones	Muy alta	Muy baja	Baja
Cantidad de retransmisiones recibidas	Alta a bajo tráfico ofrecido, baja a alto tráfico ofrecido	Alta para cualquier valor de tráfico ofrecido	La más alta para cualquier valor de tráfico ofrecido
Caudal eficaz <i>throughput</i> máximo	0.42 paquetes de petición por mini ranura	0.42 paquetes por mini ranura (con posibilidad de aumentar)	0.45 paquetes de petición por mini ranura
Retardo en el servicio por tipo de aplicación	Adecuado <sup>9</sup>	Adecuado	Adecuado
Soporte de 250 usuarios	Malo, alta cantidad de tráfico ofrecido	Bueno, baja cantidad de tráfico ofrecido	Bueno, cantidad media de tráfico ofrecido

De la tabla anterior, se desprenden las ventajas mostradas por la asignación dinámica de canales de acceso aleatorio sobre la asignación estática o fija de esta cantidad de mini ranuras utilizadas en el periodo de contienda, en los aspectos de probabilidad de recepción (disminución considerable de colisiones y retransmisiones), un buen soporte de usuarios manteniendo bajo tráfico ofrecido y un retardo en el servicio adecuado para cada tipo de aplicación. Se determina además que resulta más conveniente realizar la asignación dinámica de canales de manera dependiente del tráfico tal como lo realiza el modelo ADICAC.

#### V.7.4 Análisis de la asignación dinámica de canales de acceso con asignación dinámica de umbral entre subtramas (ADICACTM)

Con el análisis de los aspectos anteriores, se han visto los beneficios ofrecidos por la implementación de la asignación dinámica de canales de acceso aleatorio dependiente del tráfico manejado por el sistema.

<sup>9</sup> Para las aplicaciones de menor prioridad a valores de tráfico ofrecido iguales o inferiores a 28 paquetes de petición por trama (200 usuarios).

Partiendo de esta misma idea, si la asignación del umbral entre los enlaces (subtramas) ascendente y descendente, se realiza de manera dinámica en demanda, se prevé mejorar el aprovechamiento de los recursos del sistema WATM, específicamente las ranuras de tiempo utilizadas para la transmisión de información, dada la naturaleza asimétrica de tráfico manejado por los enlaces, ya que en la mayoría de los casos, el requerimiento de ancho de banda del enlace descendente, es superior al enlace ascendente.

Para esto se ha incorporado al modelo **ADICAC** (el cual ha presentado las mejores características de operación) la asignación dinámica de umbral y los resultados de esta implementación se analizan a continuación.

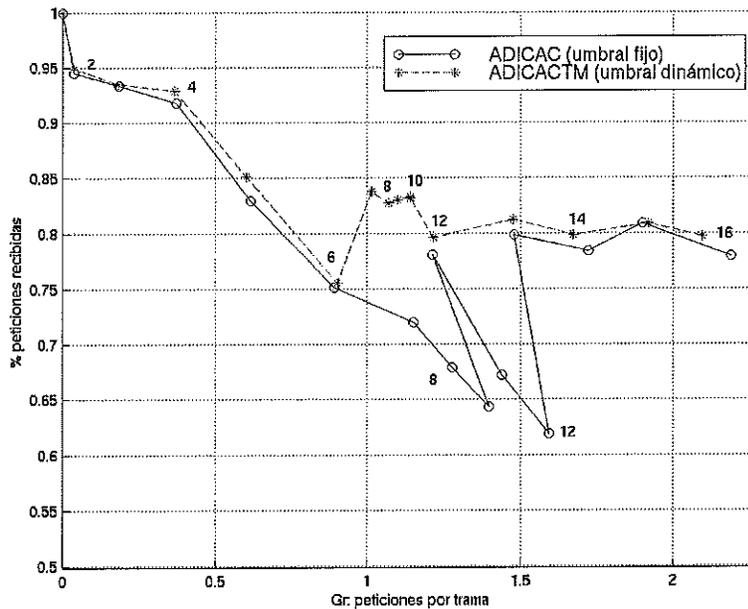
#### **V.7.4.1 Probabilidad de recepción**

La posibilidad de que un paquete de cualquier usuario pueda acceder a los servicios del sistema WATM se estudia en base a la Figura 41. Como se ha señalado, este es uno de los aspectos más importantes, ya que de él se desprenden otros aspectos de evaluación, como lo son las colisiones, retransmisiones y retardo en el servicio.

Tal como se aprecia en la Figura 41, los modelos mantienen un alto nivel de probabilidad de recepción y son semejantes para ambos. Se observa que el modelo **ADICACTM** logra obtener mayor probabilidad de recepción que el modelo **ADICAC** para valores mayores de tráfico ofrecido a una petición por trama.

Se observa también que existe una variación en la probabilidad de recepción para el modelo **ADICAC**, para valores de tráfico ofrecido aproximado de 1.3 a 1.6 peticiones por trama, ocurrido por las fluctuaciones de tráfico, en una región donde el algoritmo no logra establecer un aumento definitivo de mini ranuras. Los valores mínimos aproximados de recepción para los modelos son de 62% para el modelo **ADICAC** y de 75% para el modelo **ADICACTM**.

La diferencia en la probabilidad de recepción entre los modelos permite justificar la diferencia de tráfico ofrecido existente para las diferentes cantidades de usuarios móviles.

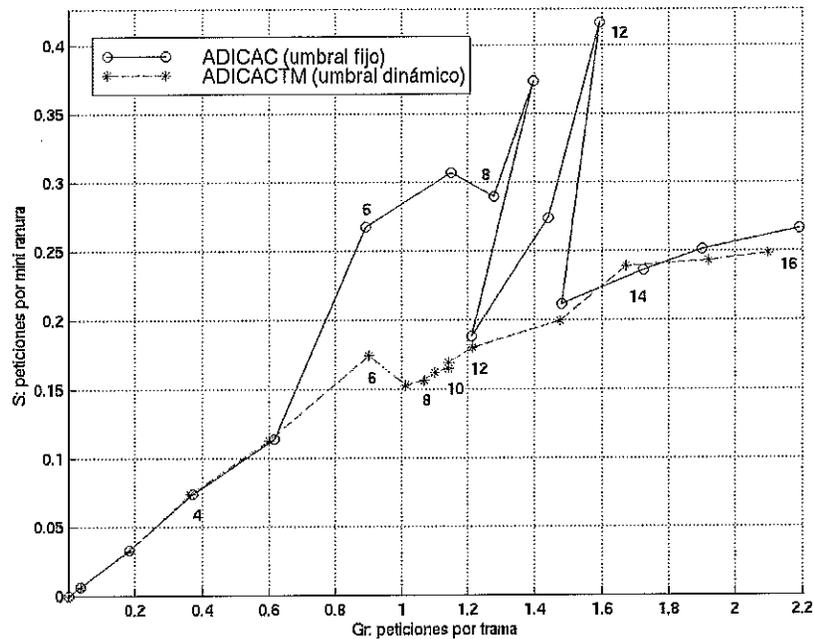


**Figura 41. Comparación de la probabilidad de recepción**

#### V.7.4.2 Caudal eficaz

El aprovechamiento de las mini ranuras utilizadas para la contención es analizado en la Figura 42. Se observa de forma detallada una característica peculiar del modelo **ADICAC**, para valores de tráfico ofrecido ubicados entre 1 y 1.5 peticiones por trama. Esta región es de inestabilidad y pertenece a las condiciones de tráfico en las cuales existen lapsos de tiempo en que el aumento de mini ranuras de acceso se mantiene y luego disminuye debido a las posibles variaciones de tráfico, por lo que es difícil para la base detectar la necesidad de mantener este aumento de mini ranuras, ya que se encuentra en el límite de las condiciones mínimas de tráfico para mantenerlo.

Previo a este valor de tráfico ofrecido, ambos modelos seguían una comportamiento igual de caudal eficaz. Para valores mayores, el caudal eficaz es mayor para el modelo **ADICAC**, mientras que el modelo **ADICACTM** mantiene un caudal eficaz que paulatinamente se incrementa a la par del tráfico ofrecido, sin embargo es inferior al presentado por el modelo **ADICAC**.



**Figura 42. Comparación del caudal eficaz en los modelos ADICACTM y ADICAC**

Para la máxima cantidad de usuarios los valores de caudal eficaz y de tráfico ofrecido en estos modelos difieren en una pequeña proporción, debido a la diferencia de colisiones entre ellos, ya que la cantidad de retransmisiones depende directamente de las colisiones, y las retransmisiones ofrecen mayor cantidad de tráfico al sistema.

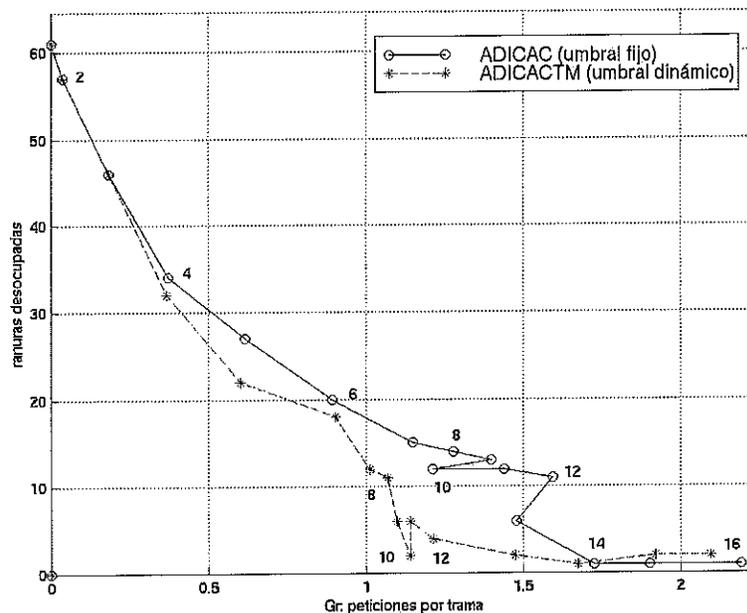
#### V.7.4.3 Ranuras desocupadas

Este aspecto permite conocer el aprovechamiento de las ranuras de tiempo de la trama TDMA/TDD. Se han excluido las ranuras utilizadas para el *broadcast* y para el periodo de contención, por lo cual restan a ocupar 60 ó 61 ranuras dependiendo si existe aumento o no hay aumento de mini ranuras utilizadas en el periodo de contienda.

Tal como se aprecia en la Figura 43, con un bajo tráfico ofrecido al sistema por parte de los usuarios móviles, la ocupación para los dos modelos estudiados es similar, debido a que se maneja poco servicio y se requieren entonces pocas ranuras. Sin embargo, conforme la cantidad

de usuarios se incrementa, el número de ranuras desocupadas para el modelo **ADICACTM** comienza a ser inferior al número de ranuras desocupadas en el modelo **ADICAC**. Esta diferencia es más notoria cuando se manejan valores mayores a un paquete de petición de tráfico ofrecido por trama.

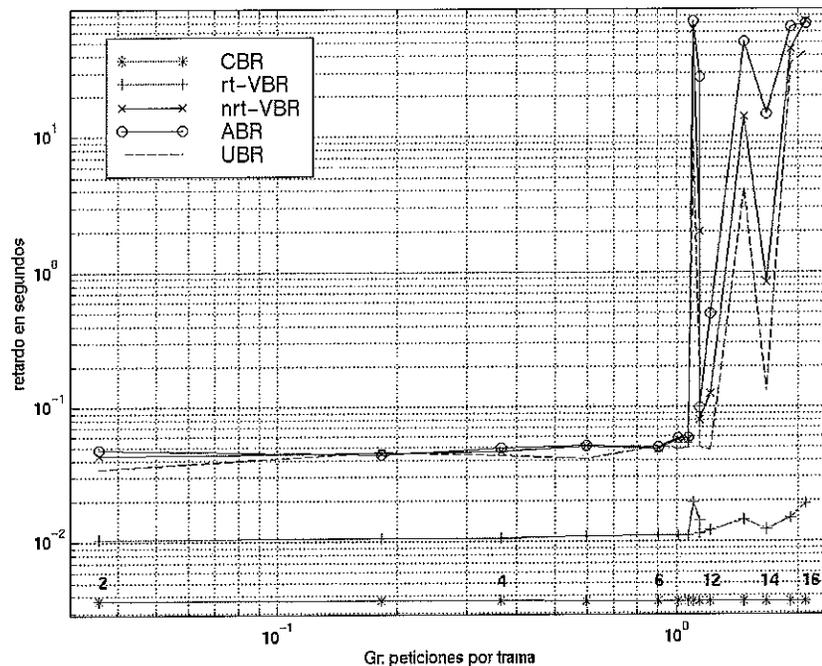
Bajo estas condiciones de tráfico se infiere que la asignación dinámica de umbral entre subtramas, permite aprovechar mejor las ranuras de tiempo en esta región, debido a que las ranuras que no se requieren en el enlace ascendente, son ahora utilizadas por el enlace descendente. Para valores mayores de tráfico ofrecido, la asignación del umbral se ubica de nueva cuenta en la mitad de la trama TDMA/TDD, para permitir a los usuarios obtener los servicios requeridos asignándoles las ranuras de tiempo para la transmisión de información. Como es de esperarse, con valores de tráfico alto, la ocupación de ranuras de tiempo es máxima.



**Figura 43. Comparación de ranuras ocupadas**

#### V.7.4.4 Retardo promedio en el servicio por tipo de tráfico

Una vez más puede observarse cómo los diferentes tipos de aplicaciones mantienen el retardo en el servicio dentro del intervalo permitido para garantizar QoS (ver Figura 44). Los usuarios con tráfico sensible al tiempo permanecen con retardos pequeños (menores a 0.011 seg.) para cualquier valor de tráfico ofrecido, mientras que para las aplicaciones de menor prioridad, este retardo comienza a incrementarse de manera considerable a partir de que el sistema maneja aproximadamente un paquete de petición por trama.



**Figura 44. Comparación del retardo por tipo de servicio en el modelo con algoritmo de asignación dinámica de canales con asignación dinámica de umbral**

#### V.7.5 Comparación entre la asignación estática y dinámica del umbral entre subtramas en el modelo con asignación dinámica de canales de acceso aleatorio

Como se ha observado a través de las comparaciones entre la asignación estática y dinámica del umbral entre subtramas ascendente y descendente, los resultados son satisfactorios para la implementación del desplazamiento del umbral cuando este se requiera, ya que se tienen mejoras sensibles en los aspectos más significativos como la probabilidad de recepción y la

ocupación de ranuras, aprovechando de mejor manera los recursos del sistema, y operando con un caudal eficaz inferior al presentado por la asignación estática de umbral. A continuación se enlistan las principales características del análisis realizado a estos modelos.

**Tabla IX. Comparación de los principales aspectos evaluados en la asignación estática y dinámica del umbral entre subtramas**

Parámetro	Asignación dinámica de canales de acceso con umbral estático	Asignación dinámica de canales de acceso con umbral dinámico
Probabilidad de recepción mínima	62%	76%
Caudal eficaz máximo	0.42 paquetes de petición por mini ranura, con posibilidad de aumentar	0.25 paquetes de petición por mini ranura, con posibilidad de aumentar
Cantidad de ranuras de tiempo desocupadas	Alta con bajo tráfico ofrecido, baja a valores de tráfico ofrecido medio	Alta con bajo tráfico ofrecido, muy baja a valores de tráfico ofrecido medio
Retardo en el servicio para cada tipo de aplicación	Adecuado	Adecuado

## V.8 Resumen

En este capítulo se presentan las características de los modelos utilizados para estudiar los diferentes escenarios de simulación en base a la cantidad de tráfico ofrecido por la cantidad de usuarios dentro del sistema. Se explican los modelos de forma breve y se presentan los parámetros de simulación y las consideraciones tomadas. Se analizan los resultados obtenidos de la simulación en aspectos como la probabilidad de recepción, caudal eficaz y retardo en el servicio, entre otros. Se realiza una comparación entre la asignación dinámica y estática de canales de acceso aleatorio y se determina la viabilidad de la primera de estas. Además se analiza la asignación dinámica de umbral entre subtramas, dejando entrever un mejor aprovechamiento de los recursos del sistema WATM.

# Capítulo VI

## Conclusiones y Trabajo Futuro

### **VI.1 Conclusiones**

La evolución de los sistemas de comunicaciones ha generado en la actualidad, un gran enfoque hacia la manera de lograr que todos los recursos disponibles sean utilizados de manera óptima. Importantes cambios se han dado con el objetivo principal de establecer mecanismos más eficaces, para cubrir las necesidades en los servicios y aplicaciones más demandados y que requieren de un gran ancho de banda, como la videotelefonía y la telemedicina, entre otros.

Esto ha originado la convergencia de los sistemas de comunicación hacia la creación de una gran infraestructura de comunicaciones denominada Red Digital de Servicios integrados de Banda Ancha (B-ISDN). La cual aprovechará las ventajas del ATM como tecnología más prometedora en términos de calidad, garantía de servicio y la mayor velocidad en la transmisión de todo tipo de información.

Las virtudes presentadas por ATM dejan abierta la posibilidad de trasladar la mayor parte de estas ventajas al medio inalámbrico, para que sea utilizada como plataforma en el ambiente de comunicación de mayor explotación y crecimiento hoy en día. Lo cual permitiría al usuario realizar de manera transparente la transmisión-recepción de información tal como datos, audio y video desde terminales remotas móviles.

Lograr la transmisión inalámbrica de todo tipo de información a través de una misma plataforma, es una meta complicada, los protocolos y algoritmos necesarios son aspectos que continúan siendo estudiados, con el objetivo final de hacer realidad la estandarización del WATM como plataforma universal de la siguiente generación de servicios de comunicación móvil.

La capacidad de acceso al medio ofrecida por el sistema a los usuarios móviles, es una parte clave en el desempeño del WATM, debido a que ésta permite compartir de manera eficiente los recursos y servicios de la red a la gran cantidad de usuarios solicitantes. Por ello es necesario el estudio y diseño de un protocolo de control de acceso al medio (MAC) adecuado. Alrededor del mundo se han realizado una buena cantidad de propuestas, en este trabajo se toma como referencia al protocolo MAC basado en prioridad por potencia.

Si bien la retransmisión de peticiones basada en prioridad por potencia, asegura el acceso de los servicios de mayor prioridad, ésta se ve perjudicada por la cantidad de peticiones interferentes producto de retransmisiones y requerimientos de servicio cuando la etapa de acceso se satura.

Como resultado de este trabajo se aporta una alternativa de solución de acceso al medio con un **algoritmo de asignación dinámica de canales de acceso aleatorio**, el cual se recomienda sea operado de manera dependiente del tráfico manejado por el sistema. Logrando con ello una mayor capacidad de recepción de peticiones, además de que para cualquier cantidad de usuarios a los que la red puede ofrecer servicio por picocelda, el sistema presenta una posibilidad de recepción igual o mayor al **62%**. Lo cual se traduce en una disminución de colisiones y de retransmisiones en los paquetes de petición y en una mayor rapidez en el servicio a los usuarios. Esto explica las diferencias mostradas en el tráfico ofrecido para los diferentes modelos analizados, debido a que la probabilidad de recepción en cada uno de ellos es diferente.

También se desarrolló de manera sencilla y proporcional la **simulación del enlace descendente (*downlink*)**, lo cual permitió analizar de mejor manera el desempeño del sistema WATM en términos de aprovechamiento de recursos, con esto se logró aportar también un **algoritmo de asignación dinámica de umbral** entre subtramas, el cual demuestra la viabilidad del desplazamiento de umbral con el propósito de aprovechar al máximo las ranuras de tiempo de la trama TDMA/TDD, aprovechando hasta un **83%** más las ranuras de tiempo respecto de la asignación estática del umbral.

Se demuestra también que la utilización de una ranura de tiempo extra para obtener la cantidad de siete mini ranuras de acceso, no perjudica al desempeño del sistema a pesar de que estas mini ranuras no son aprovechadas totalmente en el periodo de contienda y si en cambio contribuye a las mejoras en el acceso mencionadas con anterioridad, garantizando una calidad de servicio adecuada en cuanto a la asignación de recursos y al retardo en el servicio por tipo de aplicación.

El sistema puede soportar de manera adecuada la cantidad de **250** usuarios (máxima permitida) en la picocelda de **200 mts.** de radio. Un papel importante es el que desarrolla el control y administración de llamadas del sistema, del cual depende una buena operación y sincronización de los elementos involucrados como son la estación base y los usuarios.

Finalmente para las consideraciones tomadas en el protocolo MAC basado en prioridad por potencia, el aprovechamiento del sistema va ligado a la cantidad de usuarios, al tamaño medio de sus paquetes de información y a la prioridad de la aplicación que realicen.

## ***VI.2 Perspectivas y Trabajo Futuro***

Los modelos desarrollados en esta tesis, incorporaron la mayor cantidad de características reales para analizar un sistema WATM lo más real posible. Los resultados han demostrado que la implementación del protocolo MAC basado en prioridad por potencia es viable en los sistemas ATM inalámbricos.

Existen más actividades por realizar en el estudio de este sistema WATM, entre ellas se encuentra la simulación y análisis más profundo del enlace descendente para comparar los resultados con los mostrados aquí y ver las posibles diferencias.

Se recomienda evaluar el aumento de información o el reacomodo de la misma en el paquete de petición, para ofrecer información más precisa a la estación base que contribuya a realizar de manera más exacta la determinación de un aumento de mini ranuras de contención, ya que la

información actual en dicho paquete limita la información proporcionada a la estación base respecto de las condiciones de tráfico.

También resulta conveniente simular y analizar aspectos relacionados con capas superiores a la física, como la de control de enlace de datos, los cuales no han sido considerados completamente en este trabajo, debido a que se asumían los establecimientos de llamadas y las desconexiones de las mismas. Esto ofrecería información interesante acerca de la cantidad de paquetes de información que tendrían que retransmitirse de nueva cuenta.

Otra actividad por realizar, debido a que en los modelos utilizados ha quedado inconclusa, es la implementación completa y análisis del mensaje de *broadcast*, lo cual se prevé mejore aún más el desempeño del sistema.

Además sería conveniente estudiar este sistema bajo diferentes esquemas de modulación y bajo diferentes tipos de corrección de error, para luego de una comparación determinar cuales son los que mejor contribuyen a un buen desempeño del sistema.

Una actividad ambiciosa sería también la implementación física de un sistema WATM para realizar pruebas de los aspectos estudiados, lo cual serviría de referencia para la validación de resultados, ya que la simulación es el medio más adecuado comparado con los altos costos que representaría la implementación y la facilidad de estudio respecto del análisis matemático, el cual resulta complicado para las condiciones del sistema.

## Referencias



Ayala Hernández, Felipe de Jesús. 1997. *ATM Inalámbrico y su Utilización en la Transmisión de Video*. Monografía, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad de Colima, Campus Coquimatlán.

CCITT. 1992. *Integrated Services Digital Network: Frame Mode Bearer Services*

de la Fuente Tovar, Gerardo. 1999. *Protocolo MAC para una red ATM Inalámbrica*, Tesis de Maestría, CICESE.

Flores Troncoso, Jorge. 2000. *Algoritmo de Retransmisión basado en Prioridad de Potencia para una Red ATM Inalámbrica*, Tesis de Maestría, CICESE.

Linnartz, Jean Paul. 1993. *Narrowband Land-Mobile Radio Networks*, Primera Edición. Norwood. 345 pp.

Rivera R. Raúl, Herrera E. Norma, Tamayo F. Raúl. 1999. *Plan de Gestión Red CICESE*, Reporte Técnico, CICESE, CTINT9901-DT.

Sánchez García, Jaime. 1997. *MAC protocol for wireless ATM based on power priorities*, Propuesta de Tesis Doctoral, G. Washington University, Campus Virginia.

Sánchez G. Jaime, Martínez Ralph, Marcellin M. W. 1997. *A survey of MAC protocols proposed for wireless ATM*, IEEE Network, Vol. 11, No. 6, págs. 52-62.

Sánchez G. Jaime, Smith D. R. 1999. *Capture effect in Rician Fading channels with Application to Slotted Aloha*, IEEE Globecom Telecommunication Conference, Vol. 5, págs. 2390-2394.

Veeraraghavan M., Karol M.J., Eng K.Y. 1997. *Mobility and Connection Management in a Wireless ATM LAN*, IJSAC Vol. 15, No. 1, págs. 50-68.

[www.atmforum.com](http://www.atmforum.com). 1999.

# Anexo A **Acrónimos**

AAL	ATM Adaptation Layer
ABR	Available Bit Rate
ACK	Acknowledgement
ADICAC	Asignación dinámica de canales de acceso con aumento de mini ranuras dependiente del tráfico ofrecido
ADICAT	Asignación dinámica de canales de acceso con aumento temporal de mini ranuras
ADICACTM	Asignación dinámica de canales de acceso con aumento de mini ranuras dependiente del tráfico ofrecido con asignación dinámica de umbral
ADPCM	Adaptive Pulse Code Modulation
ARQ	Automatic Repeat Request
ATDD	Adaptive Time Division Duplex Protocol
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BAC	Burst Admission Control
BAHAMA	Broadband Ad-Hoc ATM Anywhere
BER	Bit Error Rate
B-ISDN	Broadband-Integrated Services Digital Network
CBMS	Computer Based Messaging Systems
CBR	Constant Bit Rate
CCITT	Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique
CDMA	Code Division Multiple Access
CLP	Cell Loss Priority
CLR	Cell Loss Rate
CODEC	Coder Decoder
CRC	Cyclic Redundancy Check
CS	Convergence Sublayer
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CTD	Cell Transfer Delay
DA	Dynamic Assignment
DECT	Digital Enhanced Cellular Telephone
DLC	Data Link Control
DQDB	Distributed-Queue-Dual-Bus
DQRUMA	Distributed-Queuing Request Updated Multiple Access
DSA	Dynamic Slot Assignment
DTDMA	Dynamic Time Division Multiple Access
EQ	Existing Quality
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FCC	Federal Communications Committee
FCS	Frame Check Sequence
FDD	Frequency Division Duplex
FDDI	Fiber Distributed Data Interface

FDMA	Frecuency Division Multiple Access
FEC	Forward Error Correction
GT	Guard Time
GFC	Generic Flow Control
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
Ga	Tráfico ofrecido no sensible al tiempo
Gr	Tráfico ofrecido sensible al tiempo
GSM	Group Spécial Mobile
HEC	Header Error Control
HD	High Definition
HDTV	High Definition Television
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IPX	Internet Packet Exchange
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ISO	International Standars Organization
ITU-T	International Telecommunications Union-Telecommunications Standars Sector
LAN	Local Area Network
LAPB	Link Access Procedure B
MAC	Medium Access Control
MASCARA	Mobile Access Scheme based on Contention and Reservation for ATM
MCR	Minimum Cell Rate
MPDU	Multiple Protocol Data Unit
MPEG	Moving Picture Experts Group
NACK	Negative Acknowledgement
Ndl	Number of slots downlink
Nul	Number of slots uplink
NSAP	Network Service Access Point
NT	Number of transmissions
OC-n	Optical Carrier-level n
OFDM	Orthogonal Frecuency Division Multiplexing
OPNET	Optimized Network Engineering Tool
OSI	Open Systems Interconnection
PCM	Pulse Code Modulation
PCR	Peak Cell Rate
PCS	Personal Communications Services
PDU	Protocol Data Unit
PHY	Physical
PP	Power Priority
PPC	PRMA Parameter Computer
PR	Packet Reservation
PRADOS	Priority Regulated Allocation Delay Oriented Scheduling
PRMA	Packet Reservation Multiple Access
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quaternary Phase Shift Keying

RF	Radio Frequency
Rx	Receptor
S	Throughput
S-ALOHA	Slotted ALOHA
SAP	Service Access Point
SAR	Segmentation and Reassembly Sublayer
SCR	Sustainable Cell Rate
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SONET	Synchronous Optical Network
SPX	Sequenced Packet Exchange
SRTS	Synchronous Residual Time Stamp
SS	Spread Spectrum
SYN	Synchronization
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TV	Televisión
Tx	Transmisor
UBR	Unspecified Bit Rate
UW	Unique Word
RQI	Request Information
RT-VBR	Real Time-Variable Bit Rate
NRT-VBR	No Real Time-Variable Bit Rate
VC, VCI	Virtual Channel, Virtual Channel Identifier
VP, VPI	Virtual Path, Virtual Path Identifier
WAN	Wide Area Network
WAND	Wireless ATM Network Demonstration
WATM	Wireless Asynchronous Transfer Mode
WVCI	Wireless Virtual Channel Identifier



### ***B.1 Generalidades***

El OPNET (Optimized Network Engineering Tool) es una herramienta de simulación de sistemas de comunicaciones, con interfaz gráfica, que facilita su modelado y análisis. Contiene los elementos necesarios para realizar la especificación, diseño y la recopilación de datos.

Los modelos del OPNET siguen una estructura jerárquica de forma paralela a los sistemas reales de red. Existen para ello, diferentes editores como son: editor de red, de nodos, de procesos, de formatos de paquetes y de parámetros. De esta manera, un sistema de red contiene objetos llamados módulos que a su vez forman modelos de un nivel más bajo llamados nodos y estos contienen módulos llamados procesos, los cuales son la parte fundamental de la jerarquía.

### ***B.2 Dominio de modelado***

Cubre los diferentes niveles de la jeraquía en la cual está basado el OPNET.

#### **B.2.1 Dominio de Red**

Está dirigido a la topología de red descrita en términos de subredes, nodos, enlaces y contexto geográfico. Los diferentes nodos dentro de una misma red, pueden emplear el mismo modelo de nodo y el modelo de red puede utilizar una cantidad indeterminada de modelos de nodo.

#### **B.2.2 Dominio de Nodo**

Está dirigido a la arquitectura interna de nodo descrita en términos de elementos funcionales y flujo de datos entre ellos. Proporciona la interconexión de los dispositivos de comunicación en el nivel de red. Contiene módulos configurables como generadores, transmisores, receptores, colas y procesadores, conectados mediante enlaces. A los procesadores y colas se les asigna un modelo de procesos, por lo que son elementos altamente programables.

### B.2.3 Dominio de Proceso

Está dirigido a los aspectos de protocolos, algoritmos, aplicaciones, y puede ser especificado usando máquinas de proceso finito y lenguaje de alto nivel extendido. El dominio de proceso como parte fundamental de todo el orden jerárquico, utiliza procesos correspondientes a las acciones realizadas por los módulos. Estos modelos responden a las interrupciones e invocaciones. Las invocaciones son eventos que están dirigidos a un proceso que puede requerir alguna acción en particular, mientras que las interrupciones pueden corresponder a un arribo de mensaje, calendarización de actividades, liberación de recursos, o cambios de estado en otros módulos. Los procesos son codificados en un lenguaje de programación llamado Proto C, el cual presenta las facilidades para el desarrollo de protocolos y algoritmos.

Este lenguaje se basa en una combinación de Diagramas de Transición de Estados (STD), una biblioteca de comandos de alto nivel (kernel) y las instrucciones generales del lenguaje C. Las transiciones indican la ruta a seguir en los estados, definiendo las condiciones para el paso entre un estado y otro.

Las actividades típicas de un objeto en un modelo son:

- Comportamiento específico
- Información creada
- Establecimiento y administración de información
- Proceso, modificación o información de conmutación
- Respuesta a eventos
- Contener otros objetos

### ***B.3 Principales procedimientos del kernel en la simulación***

- anim: Desarrollo de animación
- dist: Generación de probabilidad de distribución y de números aleatorios
- ev: Lista de eventos y eventos distribuidos
- ici: Interfaces formales entre procesos, asociación de información con interrupciones
- id: Identificación de objetos

- ima: Solicitud en simulación y modificación de atributos de objetos
- intrpt: Solicitud de propiedades de interrupción, control de manejo de interrupción
- pk: Creación, destrucción, modificación, análisis y transmisión de paquetes
- prg: Soporte de programación; listas de enlace, memo, manipulación de cadena, depuración
- pro: Creación, invocación de procesos, grupo de procesos de memoria compartida
- q: Estadística de colas, operaciones de alto nivel de colas
- rte: Soporte de enrutamiento básico para implementaciones de enrutamiento estático
- sim: Control de simulación; personalización de mensajes, control de ejecución de la simulación
- stat: Generación estadística personalizada, señalización intermodulo vía cables estadísticos
- strm: Comunicación entre módulos vía flujos de paquete, entrega de paquetes
- subp: Operaciones de cola de bajo nivel, apilamiento, desapilamiento, estadística, etc.
- tbl: Accesos a datos tabulares; patrones de antena, modulaciones
- td: Establecimiento y obtención de datos de transmisión para modelos de enlace personalizado
- topo: Solicitud de topología de modelo

