INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS ESTADO DE MÉXICO

DIVISIÓN DE GRADUADOS E INVESTIGACIÓN DIRECCIÓN DE MAESTRÍAS EN INGENIERÍA

901353
BIBLIOTECA
INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS ESTADO DE MÉXICO

FACTIBILIDAD DE ATM COMO UN SISTEMA INTEGRADO DE COMUNICACIONES

TESIS QUE PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS COMPUTACIONALES
PRESENTA

LEOBARDO FLORES SÁNCHEZ

Asesor: Dr. Cornelio Robledo Sosa

Comité de tesis: Dr. Jesús Antonio Sánchez Velázquez
M. en C. José Guadalupe Viveros Talavera

Jurado:	Dr. Jesús Antonio Sánchez Velázquez	Presidente
	M. en C. José Guadalupe Viveros Talavera	Secretario
	Dr. Cornelio Robledo Sosa	Vocal

Atizapán de Zaragoza, México, marzo de 1996.

FACTIBILIDAD DE ATM COMO UN SISTEMA INTEGRADO DE COMUNICACIONES

INDICE

- **INTRODUCCION.** I
- **OBJETIVOS DE LA TESIS.** III
- **ORGANIZACION DEL DOCUMENTO.** V

Capítulo 1: ANTECEDENTES.
1.1 Aspectos relevantes. 1
1.2 Situación actual en el mundo de las telecomunicaciones. 3
1.2.1 Problemática de las redes actuales. 4
1.2.2 Desventajas de las redes actuales. 5
1.2.3 Ventajas de una red universal. 5
1.3 Desarrollo tecnológico. 6
1.3.1 Progresos en la tecnología. 6
1.3.2 Progresos en la conceptualización de sistemas. 7
1.4 Requerimientos de futuros servicios. 8
1.4.1 Perspectivas del abonado residencial. 8
1.4.2 Perspectivas del abonado empresarial. 9

Capítulo 2: EVOLUCION DE LOS MODOS DE TRANSFERENCIA.
2.1 Introducción. 11
2.2 Descripción de los modos de transferencia. 12
2.2.1 Conmutación de circuitos. 13
2.2.2 Conmutación de circuitos de velocidad múltiple. 14
2.2.3 conmutación de circuitos rápidos (FCS). 15
2.2.4 Conmutación de paquetes. 15
2.2.5 Conmutación de paquetes rápidos: Modo de Transferencia Asíncrono (ATM). 18

Capítulo 3: X.25.
3.1 Introducción. 21
3.2 Especificaciones del estándar. 21
3.2.1 Capa física. 22
3.2.2 Capa de enlace. 22
3.2.2.1 Funciones del procedimiento LAPB. 23
3.2.3 Capa de paquetes. 25

3.3 Estándares complementarios. 28
3.4 Situación actual de las redes X.25. 28

Capítulo 4: FRAME RELAY.
4.1 Aspectos generales. 31
4.2 Tipos de circuitos. 33
4.3 Procedimiento LAP-D. 33
4.4 Estructura de la trama LAP-D. 35
4.5 El proceso Frame Relay. 37
4.6 Análisis comparativo de X.25 y Frame Relay. 37
4.7 Situación actual de Frame Relay. 39

Capítulo 5: ATM.
5.1 Introducción. 43
5.2 Desarrollo de la tecnología ATM. 46
5.3 Arquitectura de las redes ATM. 48
5.3.1 Interfases ATM. 49
5.3.2 Principios básicos de funcionamiento de ATM. 50
5.4 Protocolos ATM. 51
5.4.1 Funciones de la capa física. 53
5.4.2 Funciones de la capa ATM. 55
5.4.3 Funciones de la capa de adaptación ATM (AAL). 56
5.5 La capa física. 58
5.5.1 Interfase basada en la Jerarquía Digital Síncrona (SDH). 58
5.5.2 Interfase basada en celdas. 60
5.5.3 Interfase basada en la Jerarquía Digital Plesiócrona. 62
5.5.4 Interfase basada en FDDI. 62
5.6 Capa ATM. 63
5.6.1 Estructura de las celdas. 63
5.6.2 Operación de la capa ATM. 68
5.7 Capa de adaptación ATM (AAL). 69
5.7.1 Funciones y tipos de capas de adaptación. 69
5.7.2 AAL tipo 1. 70
5.7.2.1 Funciones de la subcapa SAR. 71
5.7.2.2 Funciones de la subcapa de convergencia. 72
5.7.3 AAL tipo 2. 73
5.7.3.1 Funciones de la subcapa SAR. 74
5.7.3.2 Funciones de la subcapa de convergencia. 75
5.7.4 AAL tipo 3/4. 76
5.7.4.1 Funciones de la subcapa SAR. 76
5.7.4.2 Funciones de la subcapa de convergencia. 78
5.7.5 Capa tipo 5. 78
5.7.5.1 Funciones de la subcapa SAR. 78
5.7.5.2 Funciones de la subcapa de convergencia. 79
5.8 Capas superiores. 81

5.8.1 Plano de usuario. 82
5.8.1.1 Interoperabilidad con Frame Relay 82
5.8.1.2 Interoperabilidad con SDMS 83
5.8.1.3 Servicio de emulación de circuitos 83
5.8.1.4 Redes LAN virtuales 84
5.8.1.5 Servicios interactivos de video 84
5.8.2 Plano de control. 85
5.8.3 Plano de administración 89
5.9 Funciones de operación y mantenimiento (OAM). 91
5.9.1 Organización de las funciones OAM. 91
5.9.2 Funciones OAM en la capa física. 92
5.9.3 Funciones OAM en la capa ATM. 94
5.10 Conclusiones 94

Capítulo 6: ADMINISTRACION DEL TRAFICO EN LAS REDES ATM.
6.1 Introducción. 97
6.2 Mecanismos de control preventivos. 98
6.2.1 Control de admisión de llamadas. 99
6.2.1.1 Aproximación Gaussiana. 99
6.2.1.2 Reservación rápida de buffers. 100
6.2.1.3 Capacidad equivalente. 101
6.2.1.4 Aproximación del flujo a la proporción de celdas perdidas. 101
6.2.2 Delimitación del tráfico. 102
6.2.3 Supervisión del tráfico. 102
6.2.4 Descarte selectivo. 103
6.3 Mecanismos de control correctivos. 104
6.3.1 Técnicas de notificación a los nodos terminales. 104
6.3.1.1 Estimada por los nodos terminales. 105
6.3.1.2 Notificación explícita de congestión hacia atrás (EBCN). 105
6.3.1.3 Notificación explícita de congestión hacia adelante (EFCN). 106
6.3.2 Control adaptativo de la velocidad de transmisión. 106
6.3.3 Negociación de parámetros para llamadas entrantes. 107
6.3.4 Codificación dinámica de la fuente. 108
6.4 Efectos de la congestión en los servicios de las redes ATM. 108
6.4.1 Servicios de voz. 108
6.4.2 Servicios de datos. 109
6.4.3 Servicios de imágenes. 109
6.4.4 Servicios de multimedia. 110
6.5 Perspectivas de estandarización 111

Capítulo 7: PROTOCOLOS DE TRANSPORTE.
7.1 Introducción. 113
7.2 Funciones de transporte. 113
7.2.1 Direccionamiento. 114
7.2.2 Establecimiento y terminación de la conexión. 114

7.2.3 Control de flujo y de velocidad de transmisión. 114
7.2.4 Almacenamiento temporal. 115
7.2.5 Multiplexión. 116
7.2.6 Segmentación y reensamble. 116
7.2.7 Manejo de paquetes duplicados. 116
7.2.8 Control y recuperación de errores. 117
7.2.9 Manejo de prioridades. 117
7.3 Características de los protocolos de transporte. 118
7.3.1 Señalización. 118
7.3.2 Administración de la conexión. 118
7.3.3 Parámetros de la conexión. 119
7.3.4 Multiplexión. 119
7.3.5 Mensajes de reconocimiento. 120
7.3.6 Técnicas de control de flujo. 120
7.3.7 Manejo de errores. 121
7.4 Evaluación de las funciones de los protocolos de transporte. 122
7.5 Protocolos de transporte convencionales. 123
7.5.1 TCP. 123
7.5.2 ISO/TP4. 126
7.6 Protocolos de transporte simplificados. 127
7.6.1 Delta-T. 127
7.6.2 Protocolo Universal del Receptor (Datakit). 128
7.6.3 NETBLT. 129
7.6.4 VMTP. 129
7.6.5 RTP. 130
7.6.6 XTP. 131
7.7 Análisis comparativo de protocolos. 132
7.8 Puntos de referencia para los futuros protocolos de transporte. 133
7.9 Conclusiones 135

Capítulo 8: CONMUTACION ATM.
8.1 Introducción. 137
8.2 Arquitecturas de conmutación con medio compartido. 140
8.2.1 Conmutador ATM modular con buffer de salida. 141
8.2.2 Sistema integrado de enrutamiento paquetizado automático. 141
8.2.3 Conmutación de paquetes síncrona compuesta. 142
8.3 Arquitecturas con memoria compartida. 142
8.3.1 Conmutación Preludio. 143
8.3.2 Conmutador de Hitachi con buffer compartido. 143
8.4 Arquitecturas con división espacial. 144
8.4.1 Redes Banyan. 145
8.4.2 Arquitecturas con división espacial sin bloqueos. 146
8.4.3 Conmutador Batcher-Banyan. 146
8.4.4 Banyan con compartimiento de carga. 147
8.5 Otros sistemas de conmutación ATM. 147

8.6 Situación actual 149

Capítulo 9: ENRUTAMIENTO EN LAS REDES ATM.
9.1 Introducción. 153
9.2 Enrutamiento en las redes actuales. 153
9.3 Técnicas de enrutamiento en las redes ATM. 154
9.4 Funciones de enrutamiento. 156
9.5 Metodologías de enrutamiento. 157
9.5.1 Enrutamiento de ruta más corta. 157
9.5.2 Enrutamiento de ruta fija. 158
9.5.3 Enrutamiento con saturación. 158
9.5.4 Enrutamiento basado en autómatas de aprendizaje estocástico. 159
9.6 Modos de enrutamiento. 159
9.7 Conclusiones 160

Capítulo 10: ESTANDARIZACION DE LA TECNOLOGIA ATM.
10.1 Introducción. 163
10.2 Administración del tráfico. 165
10.3 Señalización ATM. 167
10.4 Interfase privada red-red (PNNI). 170
10.5 ATM sobre UTP. 173
10.6 Otros estándares en desarrollo. 174

Capítulo 11: PERSPECTIVAS PRACTICAS DE DESARROLLO DE ATM A NIVEL MUNDIAL.
11.1 Introducción. 177
11.2 Implementación de ATM en redes locales. 178
11.2.1 Red ATM Westinghouse. 178
11.2.2 Red ATM Duke. 180
11.3 Implementaciones de ATM en sistemas integrales de voz, datos y video. 181
11.3.1 Redes ATM en Europa. 181
11.3.2 Redes ATM en los Estados Unidos de Norteamérica. 186
11.3.2.1 Red ATM de tecnologías y servicios de comunicaciones avanzadas (AAI). 189
11.3.2.2 Red de Ingeniería e Investigación para la Defensa (DREN). 189
11.3.2.3 Consorcio de Redes Gigabit y Aplicaciones Multidimensionales (MAGIC). 190
11.3.2.4 Red de Demostraciones de Tecnologías Avanzadas (ATDnet). 191
11.3.2.5 Red Gigabit Nectar. 192
11.3.2.6 CalREN. 192
11.3.2.7 Proyectos BLANCA y XUNET-3. 193
11.3.2.8 Red ATM en Boulder, Colorado. 193
11.3.2.9 Red ATM Aries. 193
11.3.3 Redes ATM en Canadá. 195
11.3.3.1 CANARIE Inc. 196
11.3.3.2 CA*net. 198
11.3.4 Redes ATM en Japón. 198

Capítulo 12: PERSPECTIVAS PRACTICAS DE DESARROLLO DE ATM EN MEXICO.

12.1 Introducción. 201
12.2 Evolución de los sistemas de transmisión de información en México y el mundo. 202
12.3 Factibilidad de adopción de la tecnología ATM en el ámbito nacional. 204
12.4 Implementación de ATM en redes de área local y extendida. 210
12.4.1 Factores que fomentan la implementación de redes ATM locales. 211
12.4.2 Redes ATM LAN y WAN en México. 213
12.4.2.1 Red de comunicaciones multimedia del Instituto Politécnico Nacional. 215
12.4.2.2 Red ATM del Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM). 217
12.4.2.3 Red ATM Probursa. 217
12.5 Redes públicas ATM en México. 218

CONCLUSIONES. 223

GLOSARIO. 229

BIBLIOGRAFIA. 235

INTRODUCCION

Durante la última década el orden económico internacional ha cambiado drásticamente. El mundo, que en la primera mitad del siglo fue dominado por las economías intensivas en mano de obra, se convirtió en las décadas de los cincuentas y sesentas a una economía intensiva en capital. Actualmente, a fines de siglo, el orden internacional se ha transformado de nuevo hasta convertirse en una economía global intensiva en información.

No hace mucho, la fortaleza de una economía nacional se medía en términos de la riqueza del subsuelo o de los capitales en su sistema financiero. En la actualidad la riqueza de una nación se mide en términos de las ideas que producen sus ciudadanos y de la rapidez con que se distribuyen estas ideas a aquellos que las utilizan.

En este nuevo orden, una red competitiva de telecomunicaciones es indispensable para la competitividad general de un país. Si el sistema de telecomunicaciones no es competitivo, nadie en ese país podrá serlo.

Por esta razón, el crecimiento y modernización de las telecomunicaciones deben avanzar paralelamente con el proyecto de desarrollo de una nación. La falta de coordinación entre ambas estrategias ocasiona distorsiones y retrasos económicos que con el tiempo se manifiestan en grandes desigualdades regionales y sociales.

El sector de las telecomunicaciones es hoy en día uno de los más dinámicos y cambiantes y uno de los pilares del desarrollo económico nacional. Las telecomunicaciones fortalecen la unidad del país y contribuyen a la cohesión y buen entendimiento de los ciudadanos.

En los últimos años se ha experimentado un verdadera revolución en el escenario de las telecomunicaciones debido a la llamada "convergencia de tecnologías en telecomunicaciones e informática". Este término indica la integración en un solo complejo de tecnologías que antes permanecían separadas, permitiendo la interacción simultánea con cada una de ellas. Este fenómeno fue originado por la demanda de nuevos servicios que combinan o fusionan las telecomunicaciones y la información. Para poder ofrecer estos diferentes tipos de servicios, se requiere contar con redes que integren datos, voz, audio e imágenes.

Las necesidades de comunicación han cambiado drásticamente en los últimos años, los requerimientos de servicios de información y comunicación integrados nunca habían sido tan grandes. Esta integración permite beneficios mayúsculos, entre los que se pueden mencionar el ahorro de tiempo e incremento de eficiencia al proporcionar acceso inmediato a cualquier tipo de comunicación e información. También permite la reducción de costos, ya que al integrar los servicios en una sola plataforma, las comunicaciones se hacen más simples y convenientes en costo y tiempo.

La demanda de los nuevos servicios integrados sólo puede ser soportada por redes de banda ancha. En este esquema, la tecnología de Modo de Transferencia Asíncrono (ATM) se perfila como pilar en el desarrollo y construcción de las futuras redes, públicas y privadas, que harán posible transmitir diferentes tipos de tráfico, que incluyen datos, voz y video, a través de los mismos enlaces. Con ATM es posible proporcionar una infinidad de servicios como por ejemplo video a petición, compras interactivas, CAD/CAM[1] distribuido, visualización y diseño en ingeniería, imágenes médicas, aplicaciones multimedia en tiempo real y audio de alta fidelidad.

[1] Al final del documento, el apéndice A incluye un glosario de los términos utilizados.

OBJETIVOS DE LA TESIS

A partir de 1988, año en que la ITU decidió basar el desarrollo de la futura Red de Servicios Integrados de Banda Ancha (B-ISDN) en el Modo de Transferencia Asíncrono, esta tecnología ha sido blanco de las miradas de todos los sectores involucrados en el mundo de las telecomunicaciones. Se ha escrito y editado una gran cantidad de publicaciones y artículos relacionados con el tema. A primera vista parece contradictorio, pero esta gran cantidad de información ha creado confusión y una grave desinformación que puede conducir a la toma de decisiones erróneas en la selección de las soluciones de comunicación para una institución en particular. Un gran porcentaje del material publicado está influido por tendencias en el mercado y por intereses de fabricantes y proveedores.

En la comunidad partícipe del desarrollo de las telecomunicaciones en el país, existe un gran vacío de información fidedigna e imparcial acerca de la tecnología ATM, lo que ha ocasionado falta de conocimientos, aún entre la gente especializada que tiene a su cargo la elaboración de los proyectos estratégicos que permitirán la entrada de México a la nueva era de las comunicaciones integradas, y el surgimiento de una gran cantidad de dudas como ¿Cuál es el grado de estandarización alcanzado por ATM?, ¿Qué posibilidades tiene esta tecnología en México?, ¿Por qué es la solución para las futuras redes de banda ancha?, ¿Cómo se está implementado alrededor del mundo?, ¿Es factible y conveniente aplicarla ahora en las redes públicas y privadas?, ¿Como ha sido su introducción en México?

Ante este panorama, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo primordial esclarecer las dudas y presentar un esquema concreto de las condiciones que guarda la tecnología ATM así como sus posibilidades y conveniencia de aplicación en nuestro país. Además de lo anterior, se tiene contemplado que la tesis sea de utilidad en:

- El establecimiento de una guía que sirva como base a los directivos y ejecutivos de la informática, para la toma de decisiones en cuanto a la selección del sistema de comunicaciones que sea adecuado a las necesidades de su organización.

- Dar a conocer las ventajas, desventajas, aplicaciones, conveniencia, perspectiva futura y viabilidad de los diferentes sistemas de comunicaciones existentes.

- Difundir las grandes ventajas de la integración de los servicios de datos, voz y video.

- Ofrecer soluciones a las necesidades de disponer de velocidades de transmisión de información superiores a los 100 Mbps, ofrecidos por las actuales redes locales, para aplicaciones que trabajan en tiempo real.

- Disponer de un estudio detallado del estado del arte que guarda la tecnología ATM y el grado de estandarización alcanzado a la fecha, que sirva de consulta para la comunidad del área de las telecomunicaciones de nuestro país.

- Contar con una guía que indique en que condiciones y en que momento se puede implementar en forma confiable ATM en el ámbito nacional.

- Fomentar el conocimiento y cultura acerca de las tecnologías de vanguardia que conforman el mundo de las telecomunicaciones.

ORGANIZACION DEL DOCUMENTO

El presente documento está dividido en los siguientes capítulos:

El capítulo 1 se dedica a los antecedentes y factores que influyeron en la adopción de ATM como la tecnología por excelencia en el desarrollo de las futuras redes de banda ancha.

El segundo capítulo da una semblanza general de la evolución que han experimentado los modos de transferencia a través de los años. Indica la evolución de las diferentes tecnologías de conmutación y las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

Los capítulos 3 y 4 se dedican a un análisis de dos tecnologías que han tenido una extraordinaria aceptación en las actuales redes de comunicaciones, el estándar X.25 y Frame Relay, respectivamente.

En el capítulo 5 se describe a profundidad la tecnología ATM, su evolución, principios fundamentales de funcionamiento, protocolos, y arquitectura.

En los capítulos 6, 7, 8 y 9 se tratan ampliamente diferentes propuestas de solución para componentes fundamentales de la estandarización de la tecnología ATM. Estos componentes son la administración del tráfico, protocolos de transporte, conmutación y enrutamiento, respectivamente. Cabe señalar que a pesar de existir varias opciones ninguna se ajusta al cien por ciento a los requerimientos de la tecnología ATM, esto se debe principalmente a las altas velocidades que maneja y a los diversos tipos de tráfico que transporta, cada uno de ellos con diferentes requerimientos de calidad de servicio que se deben satisfacer simultáneamente sin subutilizar los recursos de la red. Sin embargo, estas soluciones se están tomando como base para el desarrollo de nuevas propuestas e inclusive se considera una combinación dinámica de las ya existentes como posibles mecanismos que pudieran trabajar eficientemente en las redes de banda ancha. Esta área requiere aún de una mayor investigación y experimentación, en las universidades y laboratorios de consorcios privados los especialistas continúan trabajando en estos tópicos, mismos que han servido inclusive de proyectos en estudios de doctorado.

En el capítulo 10 se hace una evaluación del grado de estandarización alcanzado por ATM a la fecha. Se describen los estándares totalmente terminados y los pendientes aún de definición.

El capítulo 11 analiza las perspectivas de aplicabilidad de ATM a nivel mundial. Comprende una investigación de los proyectos de desarrollo y operación más importantes alrededor del mundo, tanto en redes locales como de área extendida. Se hace un análisis de los problemas encontrados durante la implementación de la tecnología ATM y cómo fue posible lograr que funcionaran eficientemente a pesar de la falta de definición de varios estándares.

El capítulo 12 se dedica enteramente a la factibilidad de aplicación de ATM en el contorno nacional. Se describen las redes privadas ATM pioneras en nuestro país y se hace un estudio de las condiciones actuales del mundo de las telecomunicaciones y de las probabilidades de desarrollo y operación de redes ATM públicas en México.

Por último, al final del documento se presentan las conclusiones obtenidas durante el desarrollo de la tesis y se dan recomendaciones sobre la implementación de ATM en nuestro país.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Aspectos relevantes

Debido a la creciente necesidad de contar con aplicaciones multimedia que integren servicios de voz, áudio, video y datos en tiempo real, las actuales redes de telecomunicaciones están migrando hacia lo que será la Red de Comunicaciones Integrada de Banda Ancha. Esta red de hecho es comúnmente conocida como Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha o B-ISDN, que es una evolución de la ISDN de banda angosta.[9]

En las directrices tomadas para el desarrollo de la B-ISDN se han considerado diversos parámetros dentro de los cuales destaca la aparición de una gran variedad de teleservicios como por ejemplo la televisión de alta definición (HDTV), video conferencia, transferencia de datos a alta velocidad, videoteléfono, videoteca, video educativo y video para entretenimiento en base a demanda. Además de los anteriores se espera la aparición de nuevos servicios, algunos con requerimientos aún desconocidos, como el tele-trabajo, tele-educación, tele-medicina y tele-administración, entre otros.[55]

Esta gran diversidad de aplicaciones da lugar a la necesidad de contar con una red universal que sea lo suficientemente flexible para poder proveerlas eficientemente y que sea capaz de proporcionar el ancho de banda requerido para soportar multimedia y visualización. Lo anterior motivó que se seleccionara la tecnología Modo de Transferencia Asíncrono (ATM) como base para el transporte de información de los servicios que serán ofrecidos por la B-ISDN.

Con la llegada de los sistemas de transmisión digital y la creciente migración hacia la fibra óptica, las velocidades de transferencia de información se han elevado notablemente. Pero hasta hace poco, aún con los sistemas de información que trabajan en el orden de los gigabits, la única forma de aprovechar las capacidades del ancho de banda virtualmente ilimitado de la fibra óptica era a través de enlaces punto a punto, ya que los nodos de conmutación eran un cuello de botella en la transmisión a altas velocidades. Estos sistemas digitales de conmutación limitaban la velocidad de envío de datos a un máximo de 64 kbps, ya que fueron diseñados

para manejar principalmente servicios de voz. En los ochentas se empezó a vislumbrar la necesidad de eliminar este inconveniente. Como resultado, los organismos encargados de la estandarización dedicaron especial atención a las comunicaciones conmutadas en banda ancha y se empezó a trabajar en la producción de sistemas capaces de soportarlas.

El rápido desarrollo que se ha logrado en los semiconductores y en la tecnología óptica, así como la evolución en la conceptualización de los sistemas han hecho posible la aparición de la tecnología ATM, que ha sido aceptada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU)[1], como la solución fundamental para la B-ISDN ya que elimina por completo el cuello de botella impuesto por los actuales sistemas de conmutación.

ATM redefine la unidad básica del transporte de información ya que reemplaza los paquetes de longitud variable que son lentos y difíciles de transportar, por celdas de longitud fija que son capaces de transportar voz, video y datos a velocidades sin precedentes a través de las redes de telecomunicaciones. Por medio de ATM se pueden proveer los servicios conmutados en una amplia variedad de tasas de transmisión, entre las que se pueden mencionar 45 Mbps, 155 Mbps, 622 Mbps y eventualmente hasta el rango de los gigabits. Los sistemas de conmutación ATM que actualmente se desarrollan se diseñan con capacidades que van desde un gigabit hasta los 100 gigabits.[1]

La gran capacidad de ATM para conmutar tráfico a altas velocidades es crítica para servicios como video residencial, imágenes de alta resolución para diagnósticos médicos, conectividad remota de supercomputadoras, conferencias de video interactivo para enseñanza a larga distancia y servicios de aplicaciones basadas en multimedia. Esta característica permite utilizar la interfase SONET, o su equivalente SDH[2], para enlazar equipos de conmutación con otros elementos de la red. Debido a su alto grado de flexibilidad, ATM se puede utilizar en una gran variedad de servicios comunes en nuestros días como Frame Relay, Servicios de Datos Conmutados Multi-megabit (SMDS) y transmisión de señales de video.

Otra de las ventajas de la tecnología ATM es que ofrece un método económico para el uso de servicios a alta velocidad, ya que al utilizar circuitos virtuales el usuario sólo pagará por el ancho de banda utilizado para una aplicación dada.

---

[1]De la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) forman parte el Comité Consultivo Internacional en Telegrafía y Telefonía (CCITT) y el Comité Consultivo Internacional en Radio (CCIR).

[2] SONET está basado en el STS-1 a 51.84 Mbps para transporte de señales T3. SDH está basado en el STM a 155.52 Mbps para transporte de señales E4.

Se han realizado diversas pruebas piloto de ATM en varias partes del mundo. Un ejemplo es el proyecto de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Tecnologías de Comunicaciones Avanzadas en Europa (RACE) que ha unido a varios países en la construcción de una red ATM que enlazará Europa. Este proyecto inició en junio de 1994 y concluyó en diciembre de 1995 para continuar posteriormente con el Programa de Tecnologías y Servicios de Comunicaciones Avanzadas (ACTS), que finalizará en 1998. Por otra parte, en los Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y Japón se encuentran en proceso de desarrollo extensas redes ATM que contaran con enlaces a nivel nacional e internacional. En Bélgica se han efectuado diversos experimentos de banda ancha y Australia realizó pruebas de transporte de ATM a través de satélite.

1.2 Situación actual en el mundo de las telecomunicaciones

Las redes de comunicaciones de la actualidad están caracterizadas por la especialización. Esto significa que para cada servicio de telecomunicaciones existe por lo menos una red que lo transporta en forma exclusiva. A continuación se describen algunos ejemplos de los servicios existentes que requieren redes especializadas:

- Telex: Transportan mensajes de caracteres a bajas velocidades (hasta 300 bps).
- Servicio telefónico: Se transporta a través de la red pública conmutada. Esta red ofrece a los abonados el servicio clásico de transmisión de voz en dos sentidos.
- Transferencia de datos de computadora: Son transportados en el dominio público por redes de paquetes de datos conmutados (PSDN) basadas en la norma X.25, o en un número reducido de países, por redes de datos de circuitos conmutados (CSDN) ofrecidas por las compañías telefónicas locales.
- Señales de televisión: Actualmente se utilizan tres diferentes formas para su transporte; emisión por medio de ondas de radio mediante antenas, por las redes de cable coaxial (CATV) o recientemente vía satélite usando el sistema de difusión directa (DBS).
- Redes de área local: En el dominio privado los datos de computadora se transfieren principalmente por medio de redes LAN. Las más conocidas son las especificadas en las series IEEE 802, (Ethernet, Token Ring, Token bus), y FDDI.

1.2.1 Problemática de las redes actuales

Cada una de las redes mencionadas se diseñó específicamente para un tipo de servicio y frecuentemente no son adecuadas para otros fines. Por ejemplo, las redes originales CATV no permiten el transporte del servicio telefónico; la transferencia de voz a través de redes X.25 es muy problemática debido al retraso tan grande que sufre la señal al viajar de un extremo a otro.

Sólo en un número limitado de casos especiales es posible transportar por la red un servicio diferente del que originalmente fue diseñada para transportar. Este es el caso por ejemplo de las redes telefónicas públicas conmutadas, que son capaces de transportar datos de computadora a una velocidad restringida colocando modems en ambos extremos de la red. Dado que éstas se diseñaron para un servicio con ancho de banda constante, es necesario realizar costosas adaptaciones cuando se desea transferir datos a tasas variables de transmisión. El envío de información por este medio está limitada por la carencia de ancho de banda, inflexibilidad y baja calidad de transmisión de los equipos analógicos.

Una consecuencia importante de la especialización del servicio es la existencia de un gran número de redes independientes, frecuentemente mundiales, que requieren de su propia fase de diseño, manufactura y mantenimiento. Además, es necesario dimensionar cada red dependiendo del tipo de servicio que transporte, lo que implica gastos excesivos y subutilización de los recursos disponibles.

El primer paso, aunque muy limitado, hacia una red universal fue la introducción de la Red de Servicios Integrados de Banda Angosta (ISDN) en la cual la voz y los datos se transportan a través de un solo medio. Esta red no puede transportar señales de video debido a sus capacidades limitadas de ancho de banda, por lo tanto se requiere de una red especial para su transmisión.[12]

Aún la integración de servicios de banda angosta como los datos y la voz, se puede considerar limitada en la ISDN; el acceso del usuario a la red es totalmente integrado, ya sea por un acceso básico o por medio de una interfase primaria. Sin embargo, dentro de la red existen una red de paquetes conmutados y una red de circuitos conmutados como dos redes superpuestas incapaces de transportar otros tipos de tráfico y cada una dimensionada ya sea para voz o para datos X.25.[9]

Otra consecuencia importante de esta especialización de servicios es la incapacidad de la red para aprovechar al máximo los beneficios de los progresos logrados en la tecnología, como por ejemplo la transmisión de señales de voz y video simultáneamente a través de un mismo medio.

1.2.2 Desventajas de las redes actuales

Al estar las redes de hoy en día demasiado especializadas se tiene un gran número de desventajas, las más importantes son las siguientes:

- Dependencia del servicio: Cada red transporta únicamente el servicio específico para el cual fue diseñada intencionalmente. Sólo en un número limitado de casos se pueden adaptar para otros servicios utilizando equipo adicional y con un uso ineficiente de sus recursos.
- Inflexibilidad: La aparición en el futuro de nuevos servicios con requerimientos aún desconocidos harán que las redes especializadas tengan un sinnúmero de dificultades para adaptarse a estos cambios. Los avances en audio, video y codificación de voz así como el progreso alcanzado en los algoritmos de compresión y en la tecnología de la integración de sistemas influyen en la tasa de transmisión que genera un cierto servicio y por lo tanto en los requerimientos para la red.
- Ineficiencia: Los recursos internos disponibles en la red se usan en forma ineficiente dado que no pueden ser utilizados por ninguna otra red.

1.2.3 Ventajas de una red universal

Una red independiente del tipo de servicio no tendrá las desventajas descritas anteriormente, sino por el contrario contará con las siguientes ventajas:

- Flexibilidad y un futuro asegurado: Los avances en el estado del arte de los algoritmos de codificación y en la tecnología de integración de sistemas pueden reducir el ancho de banda de los servicios existentes. Además, una red capaz de transportar todo tipo de servicios podrá autoadaptarse a los cambios o a las nuevas necesidades.
- Eficiencia en el uso de los recursos disponibles: Todos los recursos disponibles se podrán compartir entre todos los servicios, de tal forma que podrá obtenerse una asignación estadística óptima de los mismos.

- Reducción de costos: Dado que se necesita diseñar, manufacturar y darle mantenimiento a una sola red, el costo total de estos procesos será menor en comparación con los de las redes actuales.

1.3 Desarrollo tecnológico

El desarrollo que ha tenido la tecnología y la evolución en la conceptualización de sistemas influyeron en la definición de una red independiente del tipo de servicio.

1.3.1 Progresos en la tecnología

En los últimos años ha ocurrido un gran progreso tecnológico en los campos de la electrónica y de la óptica. Este progreso ha hecho posible el desarrollo en forma económica de nuevas redes de telecomunicaciones que trabajan a altas velocidades.

En la electrónica, dentro de la tecnología de los semiconductores, la que tiene más futuro es la del semiconductor complementario de óxido de metal (CMOS) dado que permite una alta complejidad y velocidades de hasta 300 Mbps. La tecnología de silicio bipolar como la lógica de emisión acoplada (ECL) se usará en circuitos analógicos y digitales de alta velocidad que tendrán una complejidad de media a alta. Con base a la tendencia presentada por la evolución tecnológica, se esperan futuras mejoras en la velocidad y consumo de energía, así como el abatimiento de los costos de producción. Actualmente la tecnología ECL logra velocidades de entre 5 y 10 GHz, lo que la hace muy adecuada para sistemas de transmisión de altas velocidades.

La combinación de las tecnologías CMOS y ECL, conocida como BICMOS (CMOS Bipolar) logra obtener las ventajas de ambas; transmisiones a altas velocidades, bajos consumos de energía y complejidades altas.

Por otra parte, la tecnología óptica está evolucionando muy rápidamente. El tipo de fibra óptica que probablemente usará la B-ISDN será monomodo, dado que su potencial para transmisiones de banda ancha es casi ilimitado.

Con respecto a los emisores de luz y a los receptores, se mejoran continuamente y en la actualidad se tienen disponibles diodos emisores de luz (LED) de bajo costo para tasas de transmisión de hasta 600 Mbit/s.

Gracias a estos avances gradualmente se mejoran los siguientes tres parámetros de transmisión: la tasa de transferencia de bits, la distancia y la calidad. Existen sistemas multigigabit capaces de transportar información a través de cientos de kilómetros con tasas muy bajas de errores en bits.

1.3.2 Progresos en la conceptualización de sistemas

La red ideal del futuro debe de ser flexible. La red más flexible en términos de requerimientos de ancho de banda y la más eficiente en términos de uso de recursos, es una basada en los conceptos de conmutación de paquetes. De hecho, se puede transportar cualquier ancho de banda a través de una red de paquetes conmutados y los recursos se usan únicamente cuando se transporta información útil.[9]

El estándar X.25, que ha gozado de gran popularidad y que se usa actualmente en las redes de paquetes conmutados, tiene el inconveniente de la alta complejidad requerida por la baja calidad de transmisión de los enlaces. Esta complejidad introduce retrasos muy largos que no hacen posible que se transporten a altas velocidades servicios como voz y video que tienen restricciones de tiempo muy estrictas.

Desde la introducción de las redes de paquetes conmutados basadas en los conceptos X.25, ha evolucionado notablemente su conceptualización como sistema. Las razones básicas para estos cambios en los conceptos han sido la necesidad de una mayor flexibilidad, la necesidad de transportar servicios diferentes a transmisión puramente de datos, especialmente servicios a altas tasas de envío, y el progreso en la tecnología que ha permitido el desarrollo efectivo a bajo costo de sistemas de alta velocidad, alta calidad y alta complejidad.

La idea básica detrás de los cambios en los conceptos, es el hecho de que las funciones no deben repetirse muchas veces en la red si es posible garantizar el servicio requerido implementándolas sólo una vez en las capas superiores del modelo de la red. Esta idea fundamental se puede aplicar a dos funciones que son ofrecidas por la red: transparencia semántica y transparencia en tiempo.

Para la B-ISDN, las funciones llevadas a cabo dentro de la red se reducen del control completo de errores en X.25 a un estricto mínimo en ATM, ya que se eliminan funciones intermedias como la retransmisión de paquetes, delimitación de tramas y verificación de errores. Esto se refleja en la complejidad de los nodos dentro de la red: los nodos X.25 tienen una alta complejidad; los nodos Frame Relay tienen una complejidad menor y por lo tanto permiten velocidades más altas; mientras que los nodos ATM tienen una complejidad mínima lo cual permite velocidades notablemente elevadas.

Se puede decir que debido al incremento en la calidad de las redes de telecomunicaciones, es posible garantizar la transparencia semántica llevando a cabo el control de error de extremo a extremo de la transmisión sólo una vez.

Al necesitar ATM una mínima funcionalidad en sus nodos de conmutación, se alcanzan altas velocidades de transmisión y por lo tanto se reduce a valores muy pequeños el retraso que experimenta la información durante su paso a través de la red. Esta situación permite garantizar el transporte de servicios que trabajan en tiempo real.

1.4 Requerimientos de futuros servicios

Para el mercado de la B-ISDN se esperan dos clases principales de abonados: residencial y empresarial. Cada uno de ellos tiene sus propios requerimientos de servicios. El abonado residencial está más interesado en servicios orientados hacia el entretenimiento. Por otra parte, el empresarial requiere servicios que resulten en un incremento de su productividad, dentro de éstos se puede mencionar el tele-trabajo que en este caso beneficiaría a ambos tipos de abonados.

1.4.1 Perspectivas del abonado residencial

Un servicio muy importante a ser ofrecido al abonado residencial es la televisión en todos los tipos de calidad y accesibilidad. En el futuro se ofrecerán al abonado residencial señales de televisión de muy alta calidad (HDTV). Para HDTV se estiman rangos de transmisión de entre 15 y 150 Mbit/s, dependiendo de la complejidad de compresión y de la calidad de la imagen.

Será posible ofrecer acceso conmutado a la televisión en el cual cada abonado determina que programas o videos desea ver haciendo de esta forma realidad el concepto de servicios interactivos de televisión.

Otro servicio residencial que puede llegar a tener gran demanda es el video teléfono. En la B-ISDN se pueden transportar imágenes de alta calidad a un costo aceptable, usando tasas de transmisión de 0.5 a 5 Mbit/s.

Otras aplicaciones que pueden interesar a los abonados residenciales son los servicios a través de video como compras por televisión, consultas y transacciones bancarias, noticias, obtención de información turística, educativa y de bienes raíces entre otras.

Es claro que una vez que esté disponible la B-ISDN para cada abonado residencial, emergerá un gran número de nuevas posibilidades que por el momento no se consideran importantes o son aún desconocidas.

1.4.2 Perspectivas del abonado empresarial

Es obvio que el abonado empresarial tiene requerimientos de B-ISDN diferentes del abonado residencial, con excepción del uso del videoteléfono. Pero, aún en este caso, los requerimientos son más amplios que para el usuario residencial, ya que será necesario prestar el servicio de video conferencia que permita el enlace de múltiples usuarios a través de video teléfonos.

Dado el creciente éxito de las redes de área local a nivel empresarial, se espera que tenga una considerable demanda la interconexión de estas redes a altas velocidades, servicio que será posible proveer por medio de la B-ISDN, lo que facilitará la construcción de las llamadas superautopistas de la información[3].

Esta interconectividad entre las redes de área local ofrecerá al abonado empresarial la posibilidad de acceso a bases de datos distribuidos. Otro servicio muy importante es el ofrecer a las personas que trabajan en casa el acceso a aplicaciones de software que se puedan ejecutar en diferentes máquinas de un sistema distribuido, lo que hará más común el tele-trabajo.

---

[3] La superautopista de la información está formada por la integración de diversas tecnologías que interactúan y forman una intrincada red de telecomunicaciones a través de la cual se puede tener acceso a grandes volúmenes de información (voces, datos e imágenes) a grandes velocidades.

Se esperan también aplicaciones como transferencia de imágenes médicas de alta calidad, capacitación corporativa, correo electrónico multimedia y teleconferencia multimedia en oficinas.

En el área de manufactura, las aplicaciones estarán orientadas, entre otras, hacia la inspección visual remota y a la distribución de información visual de procesos y/o manufactura a los obreros.

De nueva cuenta, la lista de las posibles aplicaciones para los abonados comerciales aún no está agotada y aparecerán nuevos servicios cuando los usuarios vean las posibilidades de la B-ISDN.

A medida que nuestra civilización se ha ido desarrollando, han aparecido nuevas necesidades de comunicación que exigen cada vez mayores velocidades de transmisión, mayor confiabilidad, alta seguridad y menores costos de operación. Estos factores han motivado al mundo científico a desarrollar sofisticados sistemas de telecomunicaciones, mismos que han evolucionado desde el telégrafo hasta las modernas transmisiones a través de cableados de fibra óptica.

En la evolución de la tecnología de las telecomunicaciones, los modos de transferencia han experimentado diversos cambios que van desde los pulsos utilizados en la telegrafía hasta las celdas de tamaño fijo que emplea el modo de transferencia asíncrono. En el siguiente capítulo se describe el desarrollo y el uso de cada uno de ellos en los diversos sistemas de telecomunicaciones con los que ha contado la humanidad.

CAPITULO 2

EVOLUCION DE LOS MODOS DE TRANSFERENCIA

2.1 Introducción

El primer modo de transferencia que se utilizó en el mundo de las telecomunicaciones fue el telégrafo, una especie de conmutación de paquetes donde cada mensaje contenía además las direcciones fuente y destino que se utilizaban durante su transporte a través de estaciones repetidoras. La forma en que se codificaban los mensajes era una aproximación a la codificación digital ya que sólo era posible usar valores discretos (pulsos cortos y pulsos largos).

El siguiente modo de transferencia, desarrollado a finales del siglo pasado, fue la conmutación de circuitos cuya tecnología se utiliza actualmente en el servicio telefónico típico. Su principio básico es el establecimiento de circuitos durante el tiempo que dura la conversación.

El desarrollo y popularidad de la conmutación de circuitos fue posible por dos hechos:

- El uso de las estaciones repetidoras, como en el caso de la telegrafía, no es muy práctico ya que inhibe el contacto directo entre los abonados y la distorsión que experimenta la información es significativa.
- Con la aparición de los aparatos telefónicos se eliminó la necesidad de codificar la señal, ya que ésta puede ser transmitida directamente en forma analógica. El único requisito es contar con uno o más puntos de conmutación dentro de la red que permitan el establecimiento de un circuito por el cual la señal pueda viajar de su punto origen a su punto destino.

A medida que el mundo de las telecomunicaciones evolucionaba aparecían nuevos requerimientos, uno de los más relevantes fue la necesidad de interconectar computadoras y terminales como una aplicación de las redes de comunicaciones. Para satisfacer esta demanda de servicio se usaron las redes telefónicas de conmutación de circuitos. Con la instalación de modems se convertía la información digital de la computadora a señales analógicas para la red

telefónica. Actualmente en varios países un gran porcentaje de las interconexiones entre computadoras y terminales se lleva a cabo a través de las redes de las compañías telefónicas.

En los años sesentas se consideraron dos técnicas de transferencia especialmente adaptadas para aplicaciones de datos: la conmutación de circuitos y la conmutación de paquetes. En una red de conmutación de paquetes los recursos sólo se ocupan cuando se está transfiriendo información, mientras que en una red de conmutación de circuitos los recursos se ocupan durante todo el tiempo que dura la conexión (incluyendo los periodos de silencio). Estas técnicas fueron estandarizadas por la ITU y se identificaron como X.21 para conmutación de circuitos y X.25 para conmutación de paquetes. Debido a que la transmisión de datos es generalmente en ráfagas, la recomendación X.25 gozó de mayor popularidad que X.21 y a la fecha está disponible en la mayoría de países.[30]

En las futuras redes de banda ancha será necesario transferir un gran número de servicios a baja velocidad como telemetría, telecontrol, telealarmas, voz, telefax, datos a baja velocidad, servicios a velocidad media como sonido de alta fidelidad, videotelefonía, datos a alta velocidad y servicios a alta velocidad como video de alta calidad, videoteca y video educación entre otros. Con el fin de proporcionar eficientemente estas aplicaciones, el modo de transferencia que se utilizará no debe de ser diseñado específicamente para un servicio, ya que los requerimientos irán desde tasas de transmisión de unos cuantos bits por segundo hasta cientos de megabits por segundo. Además, los tiempos de ocupación de la red variarán de algunos segundos a horas, de acuerdo a la naturaleza de cada servicio.

2.2 Descripción de los modos de transferencia

El modo de transferencia define cómo se transporta a través de la red la información proporcionada por el usuario. La ITU usa este término para definir la técnica empleada en la red de telecomunicaciones para transmitir, multiplexar y conmutar información.

En la actualidad existen diferentes técnicas de conmutación, entre las que se pueden mencionar las siguientes:

- Conmutación de circuitos.
- Conmutación de circuitos de velocidad múltiple.
- Conmutación de circuitos rápidos.

- Conmutación de celdas (modo de transferencia asíncrono).
- Conmutación de paquetes rápidos.
- Conmutación de tramas (frame relay).
- Conmutación de mensajes.
- Conmutación de paquetes.

A continuación se ilustra el grado de complejidad de cada uno de ellos con respecto a los demás.

Figura 2.1 Técnicas de conmutación empleadas en las redes de telecomunicaciones.

2.2.1 Conmutación de circuitos

En la conmutación de circuitos, usada principalmente en las redes telefónicas, se establece un enlace entre las dos entidades (abonados) para intercambiar información y se desconecta hasta que alguna de las dos partes involucradas lo solicite. Esta tecnología, también conocida como modo de transferencia síncrono (STM), se basa en el principio de multiplexaje por división de tiempo (TDM) para transportar la información de un nodo a otro de la red.

En un enlace se pueden multiplexar varios canales, que para el caso de telefonía son de 64 Kbps, la conmutación se lleva a cabo convirtiendo el número de canal entrante al número de canal saliente. Antes de que los datos empiecen a circular, se asigna un canal desde el origen hasta el destino para ser usado en la señalización, tal como sucede en la señalización por canal común número 7 (SCC-7). Una vez que se establece el circuito, el tráfico fluye continuamente durante la duración de la conexión.

La conmutación de circuitos minimiza el retraso de extremo a extremo de las conexiones. De hecho, el retraso total es casi constante ya que su variación es prácticamente insignificante, y puede ser determinado por el retraso de propagación.

Este modo de transferencia es muy inflexible, ya que una vez que se determina la duración de las ranuras de tiempo o "time slots", la tasa de transmisión de bits es fija. Por este motivo, la conmutación de circuitos no es adecuada para soportar todas las aplicaciones de la B-ISDN ya que tienen requerimientos de ancho de banda significativamente variables que van desde muy bajas (del orden de 1 Kbps) hasta muy altas (140 Mbps).

2.2.2 Conmutación de circuitos de velocidad múltiple

Para superar el inconveniente de tener únicamente una tasa de transmisión de bits, como ocurre en la conmutación simple de circuitos, se desarrolló una versión mejorada llamada Conmutación de circuitos de velocidad múltiple (MRCS).

Al igual que en la conmutación de circuitos este tipo de conmutación está basado en canales de velocidad fija; sin embargo se pueden obtener canales con velocidades iguales a múltiplos de la velocidad del canal básico durante la duración de la conexión. Este tipo de conmutación se usa actualmente para proporcionar los servicios de videoteléfono. Está estandarizado por la recomendación H.261 de la ITU y puede operar a tasas de transmisión de n veces 64 kbps ($n \leq 30$).

Los conmutadores MRCS resultan muy complejos ya que deben conmutar independientemente cada velocidad específica de canal. Este factor produce una desincronización inaceptable para servicios de tiempo real o aplicaciones sensibles a retrasos, como por ejemplo los servicios de voz y video. Por este motivo la conmutación de circuitos de velocidad múltiple no fue seleccionada como el modo de transferencia de las futuras redes de banda ancha.

2.2.3 Conmutación de circuitos rápidos (FCS)

La Conmutación de Circuitos Rápidos es una técnica que busca extender las ventajas de la conmutación de circuitos basándose en la naturaleza fluctuante y en ráfagas del tráfico de voz y datos. Los recursos en una red (FCS) se asignan únicamente cuando se envía información y se liberan cuando no existe más información para transmitir. La asignación se lleva a cabo por medio de una señalización asociada.

Esta técnica demanda una gran complejidad en los nodos de conmutación para asignar dinámicamente los recursos requeridos; además tiene el inconveniente de que el sistema no pueda ser capaz de satisfacer los requerimientos simultáneos, por no contar con suficientes recursos.

En laboratorios de los Estados Unidos de Norteamérica se han desarrollado algunos prototipos basados en la técnica de conmutación de circuitos rápidos. Pero por la complejidad y los requerimientos para manejar la señalización a tasas de transmisión muy altas, la conmutación de circuitos rápidos pura o en combinación con la conmutación de circuitos de velocidad múltiple, no fue seleccionada como la solución para la red universal de banda ancha del futuro.

2.2.4 Conmutación de paquetes

La arquitectura de conmutación de paquetes para comunicaciones digitales de datos a larga distancia se desarrolló en los años setentas. A pesar de que este modo de transmisión ha evolucionado substancialmente, la tecnología básica es la misma y es aún una de las técnicas más efectivas para transmitir datos a grandes distancias.

En las redes de conmutación de paquetes, los datos de usuario se encapsulan junto con un encabezado que contiene información que es utilizada por la red para funciones de enrutamiento, corrección de errores y control de flujo entre otras.

Esta conmutación de paquetes es el resultado de combinar las ventajas de la conmutación de circuitos y la conmutación de circuitos de velocidad múltiple. En esta técnica, el tamaño de la unidad de información a ser transmitida a través de la red está restringido a un máximo del orden de unos cientos de bytes.

Cuando se diseñaron las primeras redes de conmutación de paquetes, existían únicamente enlaces con calidades de transmisión muy pobres; en ese tiempo una tasa de error de transmisión (BER) del orden de 10^{-6} se consideraba excelente. Con el fin de ofrecer un desempeño aceptable en las transmisiones de extremo a extremo, se desarrollaron complejos protocolos que llevaban a cabo funciones de control de error y control de flujo en cada enlace de la conexión.[28]

La baja velocidad de operación, comúnmente de 64 kbps, ocasionaba un retraso significativamente grande. Sin embargo, como no se transportaban servicios de tiempo real la transparencia en tiempo no era un problema.

El hecho que los paquetes tengan longitud variable los hace inadecuados para transportar servicios en tiempo real, ya que la variación en el retraso es muy significativa. Además se requiere de una compleja administración de los buffers[1] dentro de la red.

La complejidad de los protocolos incrementa los requerimientos de procesamiento y como consecuencia el retraso que experimenta la información a su paso por los nodos de conmutación de la red aumenta. También influye el hecho que se retransmitan los datos cuando se detectan errores en la transmisión. Esta situación hace que sea muy difícil aplicar la técnica de conmutación de paquetes a servicios en tiempo real y en general a aplicaciones de banda ancha. Sin embargo, este modo de transferencia es muy eficiente en la actualidad para transmitir datos a baja velocidad, como en el caso de las redes X.25.

Una evolución de la conmutación de paquetes es Frame Relay y la conmutación de mensajes. Estas soluciones tienen menos funciones asignadas que X.25 gracias al incremento en la calidad de los enlaces. Al tener menos funciones en los nodos, se puede lograr una tasa de transmisión de datos mayor.

En la Tabla 2.1 se muestra un comparativo de las funciones de la conmutación de paquetes por medio de X.25, Frame Relay y Conmutación de Mensajes. En X.25 se utiliza en la capa 2 del modelo de red OSI[2], el procedimiento balanceado de acceso al enlace (LAPB) del protocolo de control de alto nivel de enlace datos (HDLC). Sus funciones principales son

[1] Un buffer es un área de memoria reservada para almacenamiento temporal de datos.
[2] El modelo OSI, que fue definido por la ITU, especifica las características de un sistema abierto. Los procesos involucrados se subdividen en siete capas funcionales.

control y recuperación de estados de error por medio del código de detección CRC y del procedimiento de requerimiento de repetición automática (ARQ). Además de lo anterior, se cuenta con funciones de control de flujo y multiplexaje de canales lógicos en la capa 3.

En Frame Relay cuando se detectan errores por medio del código CRC, las retransmisiones se llevan a cabo únicamente de extremo a extremo de los enlaces entre las terminales de usuario. A diferencia de X.25, no se requiere de control de flujo ni de errores, tampoco es necesario efectuar multiplexaje.

FUNCIONES	X.25	FRAME SWITCHING	FRAME RELAYING
Reconocimiento de límites de ventanas	X	X	X
Transparencia de bits (bit stuffing)	X	X	X
Cyclic Redundancy Check (CRC)	X	X	X
Control de error (ARQ)	X	X	
Control de flujo	X	X	
Multiplexaje de canales lógicos	X		

Tabla 2.1 Diferencias funcionales entre las generaciones de técnicas de conmutación de paquetes.

La conmutación de mensajes difiere de Frame Relay en que el control de flujo y de error si se lleva a cabo y las retransmisiones se efectúan de enlace a enlace.

Por otra parte, es posible que X.25 trabaje económicamente a velocidades de hasta 2 Mbps. La Conmutación de mensajes puede alcanzar velocidades de hasta 8 Mbps, mientras que

los estándares Frame Relay pueden operar a velocidades de 140 Mbps, si se usan técnicas adecuadas de transparencia de bits. Los servicios de Frame Relay se introdujeron comercialmente a nivel mundial en 1992.[108]

2.2.5 Conmutación de paquetes rápidos - Modo de Transferencia Asíncrono (ATM)

ATM tiene la característica básica de realizar la conmutación con las funciones mínimas requeridas en la red. Durante su desarrollo ha recibido diferentes nombres. Por ejemplo, fue estudiado a profundidad en los Estados Unidos de Norteamérica bajo el nombre de Fast Packet Switching. La ITU lo ha llamado oficialmente Modo de Transferencia Asíncrono (ATM).

El nombre de conmutación de paquetes rápidos es adecuado dado que le permite al sistema operar a velocidades de transmisión mucho más altas en comparación con los sistemas de conmutación tradicionales. Estas altas velocidades se logran gracias al número limitado de funciones.

ATM es un modo de transferencia asíncrono ya que para su funcionamiento no es necesario que exista una sincronización entre el reloj del transmisor y el reloj del receptor. La diferencia entre ambos se puede ajustar insertando o removiendo paquetes vacíos y sin asignación en la cadena de información. Estos paquetes no contienen información de utilidad.

Esta técnica de conmutación de paquetes tiene la ventaja de ser capaz de transportar cualquier tipo de servicios, independientemente de sus características como tasa de transmisión, requerimientos de calidad o naturaleza en ráfagas. Por estas cualidades la ITU decidió que ATM fuera el modo de transferencia de la futura ISDN de banda ancha.[20]

Además de poder transportar cualquier tipo de servicio en forma transparente, el modo de transferencia asíncrono ofrece un gran número de ventajas entre las que descatan las mencionadas a continuación.

- Flexibilidad y futuro asegurado. Los avances logrados en los algoritmos de codificación pueden reducir los requerimientos de ancho de banda de los servicios actuales. Por otra parte, surgirán cada vez más nuevos servicios con características aún desconocidas. Todos estos cambios pueden ser soportados sin modificaciones en las redes ATM y sin perder su eficiencia.

- Eficiencia en el uso de los recursos disponibles. Al no existir especialización en ATM, los recursos pueden ser utilizados por todos los tipos de servicios.
- Red universal. Dado que una sola red tiene que ser diseñada, controlada, manufacturada y mantenida, los costos totales del sistema se pueden reducir significativamente.

Estas ventajas beneficiarán a todos los involucrados en el mundo de las telecomunicaciones: clientes, operadores y fabricantes.

A pesar de a ATM se le reconoce como una tecnología de alto rendimiento, muchos expertos en la materia argumentan que en realidad es la que más ineficiente uso del ancho de banda tiene. Esto es debido a que las celdas cuentan con un encabezado de 5 bytes y un espacio aprovechable para información de usuario de solo 48 bytes, lo que significa que un 9.5% del volúmen de la celda se utiliza para funciones que hacen posible el transportar adecuadamente los datos de usuario hasta su destino. Sin embargo, las altas velocidades de transmisión alcanzadas en ATM y la extraordinaria capacidad de transporte de los modernos cableados, permiten que este factor no afecte en absoluto los servicios en tiempo real que se proveerán a través de las redes de banda ancha.

Cabe señalar que la definición del tamaño de celda de 53 bytes no fue en forma arbitraria, sino que se determinó con base a diferentes estudios de conveniencia que efectuó la ITU, como se describe en el capítulo 5 del presente trabajo. La selección del tamaño reducido de la celda minimiza en forma significativa el retardo de extremo a extremo así como su variación.

Debido a la gran popularidad de X.25 en la transmisión de datos a baja velocidad y a la cada vez más creciente implementación de redes Frame Relay públicas y privadas a nivel mundial, fenómeno que también se está presentando en nuestro país, se dedican los siguientes dos capítulos a describir las tecnologías X.25 y Frame Relay, respectivamente, mencionando sus ventajas, desventajas, capacidades, utilización y situación actual.

90133
BIBLIOTECA
INSTITUTO TECNOLOGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS
ESTADO
DE
MEXICO

CAPITULO 3

X.25

3.1 Introducción

X.25 es un estándar que especifica la interfase entre el equipo terminal de usuario, conocido como DTE, y los nodos de la red conmutada de paquetes llamados DCE. En 1974 la ITU publicó en el "Libro Gris", lo que fue un primer intento de lo que más tarde sería la recomendación X.25. En ese tiempo empezó la proliferación de las redes conmutadas de paquetes, como Datapac de Canadá, o Tymnet y Telenet de los Estados Unidos de Norteamérica, situación que apresuró la aparición en 1976 de la segunda recomendación X.25 en el "Libro Naranja". De acuerdo a las políticas de la ITU, cada cuatro años se hace una revisión del estándar, siendo la más reciente en 1992.[18]

X.25 describe el mecanismo que gobierna la interfase entre el equipo terminal de usuario y la red conmutada. Para que el equipo de usuario pueda trabajar en modo de paquetes, es necesario que cuente con las funciones de un ensamblador y desensamblador de paquetes conocido comúnmente como PAD, el cual puede estar integrado a la terminal o conectado como un dispositivo externo.

El estándar X.25 opera bajo la premisa de los servicios de circuito virtual. En un circuito virtual el usuario percibe la existencia de un circuito físico dedicado a su computadora o terminal, pero en realidad está asignado a varios usuarios. Por medio del uso de las técnicas de multiplexaje estadístico, se intercalan diferentes paquetes de usuario en un canal físico. Idealmente, el desempeño del canal es suficientemente bueno para que el usuario no note degradación en el servicio ocasionado por el demás tráfico.

3.2 Especificaciones del estándar

El estándar especifica tres capas de la estructura de la red:

- Capa Física.

- Capa de Enlace.
- Capa de Paquetes.

Estas tres capas son equivalentes a las tres capas inferiores del modelo OSI.

3.2.1 Capa física

Especifica la interfase física, eléctrica y los procedimientos de la comunicación entre el equipo terminal del usuario y el enlace que lo une con el nodo de la red conmutada de paquetes.

Las especificaciones de la capa física definen entre otras cosas:

- El tipo de conector de la interfase.
- Los niveles de voltaje.
- Nombres de los cables y sus funciones.
- Los procedimientos para manejar el transporte de los bits a través del medio de comunicación.

X.25 especifica una norma para la capa física llamada X.21. Este estándar es una interfase síncrona compuesta por ocho cables y se utiliza generalmente en Europa. Para las necesidades de los Estados Unidos de Norteamérica, la ITU especifica un estándar alternativo llamado X.21bis, conocido comúnmente como RS232C o EIA232C. Cualquier dispositivo compatible con EIA232C, es compatible con cualquier red X.25 de paquetes conmutados.

3.2.2 Capa de enlace

El estándar de la capa de enlace de datos, conocido como LAPB, se encarga de que la transferencia de información se lleve a cabo en forma confiable a través de la red. Los datos se transmiten en bloques de información conocidos como tramas, que una vez que se agrega la información de control se les llama tramas LAPB.

LAPB, que es una norma orientada a bits, establece una ruta bidireccional entre el DTE y el DCE para efectuar la transferencia de datos. El formato típico de una trama LAPB, que está conformada con el estándar HDLC, se muestra en la figura 3.1. Esta se divide en encabezado,

datos de usuario y cola. A su vez, el encabezado se subdivide en los campos: bandera de inicio, dirección y control mientras que la cola cuenta con los campos de secuencia de verificación de trama (FCS) y bandera de término. Cada uno de ellos posee un patrón de bits que es generado por el transmisor de la trama y que son leídos por el receptor para la operación de LAPB.[17]

BANDERA DE INICIO	DIRECCION	CONTROL	DATOS DE USUARIO	FCS	BANDERA DE TERMINO

/——ENCABEZADO——/— DATOS DE USUARIO —/——COLA——/

Figura 3.1 Formato de una trama LAPB.

3.2.2.1 Funciones del procedimiento LAPB

Las principales funciones del procedimiento LAPB son:

a).- Manejo del enlace.
b).- Control de error.
c).- Control de flujo.
d).- Recuperación de estados de falla.

a).- Manejo del enlace.- Para efectuar la administración del enlace, el procedimiento LAPB hace uso de diferentes tipos de tramas. Algunas contienen aplicaciones de usuario y

otras viajan a través de la red con funciones de comando para aceptar o rechazar una trama y para establecer o desconectar el enlace, por ejemplo. Estas tramas son responsables de coordinar las actividades propias de la capa 2 para el mantenimiento del enlace.

b).- Control de error.- Por medio del procedimiento LAPB se asegura que la transferencia de los datos se lleve a cabo en forma confiable y precisa. Con este fin el transmisor numera secuencialmente las tramas que envía y guarda la numeración en el campo de control. Además llena el campo de secuencia de verificación de trama (FCS) con un número binario de 16 bits, producto del generador polinomial CRC-ITU que se calcula matemáticamente del contenido de la trama (sin incluir banderas). Por medio del FCS se detecta si alguna trama fue alterada durante su paso por el medio de transmisión. En este caso, el receptor solicitará por medio de una trama de manejo del enlace la retransmisión del mensaje identificándolo con su número de secuencia. Por otra parte, el receptor enviará al transmisor mensajes de reconocimiento por las tramas recibidas correctamente.

Con el uso de esta técnica de detección y corrección de errores, el procedimiento LAPB logra un alto grado de precisión en la transferencia de información a través de la red.

c).- Control de flujo.- A través de procedimiento LAPB, X.25 le permite al dispositivo del usuario (DTE) limitar la tasa a la cual recibe los paquetes con el fin de prevenir el exceso de tráfico que pudiera ocasionar congestiones. Este mecanismo de prevención se implementa con paquetes de control X.25 y con los números de secuencia de los paquetes. En caso de que los espacios de memoria del receptor se saturen, éste enviará mensajes al transmisor por medio de tramas de control del enlace indicándole que detenga temporalmente la transferencia de información.

d).- Recuperación de estados de falla.- LAPB provee de los mecanismos de recuperación de fallas en el medio de transmisión a través del secuenciamiento de tramas y del envío de mensajes de reconocimiento. En caso de ruptura o falla de un enlace, el procedimiento LAPB es capaz de suspender el envío de tramas y proseguir la transmisión sin sufrir pérdida de información una vez que se ha reparado el daño. Algunas redes de paquetes conmutados, en especial las privadas, cuentan con múltiples rutas físicas entre los DTE y los DCE de tal forma que en caso de que una ruta falle, se selecciona automáticamente otra.

3.2.3 Capa de paquetes

Esta capa maneja la transferencia de las unidades de datos, llamadas paquetes, de un extremo a otro de una conexión X.25. Mientras que el procedimiento de la capa física y de la capa de enlace funcionan de conexión a conexión y de enlace a enlace respectivamente, el procedimiento de la capa de paquetes funciona de extremo a extremo conectando dos DTE a través de la red conmutada.

Un paquete X.25 está formado por los datos del usuario final y un encabezado que contiene la información necesaria para enrutar los datos correctamente, como se indica en la figura 3.2.

ENCABEZADO	**DATOS DEL USUARIO FINAL**

Figura 3.2 Paquete X.25.

El estándar X.25 especifica diferentes tipos de paquetes. Cada uno ejecuta diversas funciones propias de la capa 3. En la estructura del encabezado se incluyen parámetros que indican el tipo de paquete y su función, además de que determinan su longitud.

Las principales funciones de la capa de paquetes son las siguientes:

- Establecimiento de conexiones de extremo a extremo.
- Direccionamiento y ruteo.
- Control de flujo de extremo a extremo.
- Liberación de conexiones de la red.
- Recuperación de fallas de la capa de enlace.

- Proveer servicios opcionales de la red.
- Proveer de funciones de diagnóstico de la red.

Establecimiento del enlace.- Los paquetes de establecimiento de llamada son los encargados de crear un circuito virtual a través de la red conmutada. Sus encabezados contienen la dirección de los DTE fuente y destino, de forma que se pueden especificar los extremos del enlace requerido. En cada nodo de la red se cuentan con tablas de ruteo que procesan esta información de direccionamiento para construir un circuito virtual entre los dos DTE. Una vez que se establece, ya no es necesario especificar en los paquetes de datos las direcciones fuente y destino.

Direccionamiento de extremo a extremo y enrutamiento.- Una vez que se ha asignado un circuito virtual entre los DTE, durante la duración del enlace cada paquete de datos contiene en su encabezado el número de canal lógico que indica implícitamente las direcciones fuente y destino. Con este procedimiento se reduce el overhead[1] de la red.

Control de flujo de extremo a extremo.- A cada paquete se le asigna un número de secuencia único y existe, como en el caso de la capa de enlace, un tamaño de ventana variable que limita el número de paquetes que se pueden enviar antes de que se requiera un mensaje de reconocimiento. De esta manera se logra evitar que el transmisor sature al receptor.

Los mecanismos de control de flujo de la capa de enlace y de la capa de paquetes funcionan en forma simultánea pero independiente. El control de flujo de la capa de paquetes funciona de extremo a extremo a diferencia del que se tiene en la capa de enlace que funciona en las conexiones entre los nodos de la red.

Liberación de la conexión.- Los paquetes X.25 de liberación del enlace son los encargados de desconectar el circuito virtual una vez que el usuario final ya no requiere de su uso. Un campo de estos paquetes le indica a los dos usuarios el motivo por el cual se liberó la conexión.

Recuperación de fallas de la capa de enlace.- El receptor DTE usa el número de secuencia de cada paquete, que es único, para enviar mensajes de reconocimiento indicando que se recibieron correctamente. En caso de falla de la capa de enlace en algún punto del circuito virtual establecido, el DTE X.25 de cualquier extremo mantiene en memoria el estado

[1] Se le llama overhead a toda la información adicional a los datos de usuario que es necesario codificar para su manejo dentro de la red.

de la conexión virtual antes de que se presentase la avería. De esta forma cuando se provee de una ruta alternativa para sustituir el enlace dañado, el circuito virtual puede reiniciar su funcionamiento a partir del estado previo a la falla. Los paquetes X.25, llamados "reset packets", son los encargados de la recuperación del circuito virtual de extremo a extremo inmediatamente después de que se presenta la anomalía. El procedimiento "reset" remueve todos los datos en cada dirección entre las dos estaciones e interrumpe los paquetes que pudieran estar en la red.

Servicios opcionales de la red.- X.25 define un número de facilidades de usuario que modifican la calidad del servicio. Estas se pueden agrupar en dos categorías:

- Atributos variables de la red, como por ejemplo el tamaño del paquete que define el número máximo de bytes que se pueden enviar en un paquete de datos. También es posible definir el tamaño de ventana entre otros.
- Características de los servicios opcionales, como por ejemplo de grupos cerrados de usuarios y selección rápida.

Cuando un usuario final X.25 se conecta a la red de paquetes, puede modificar los anteriores atributos o puede invocar esas características para cada llamada. Estas peticiones y respuestas van en el encabezado de los paquetes de establecimiento de la llamada.

Diagnóstico de la red.- El mecanismo de la capa 3 de X.25 le indica al usuario las causas de diferentes problemas que puede encontrar al intentar usar la red. Los indicadores de diagnóstico se encuentran localizados en los encabezados de los paquetes de desconexión de la llamada, reset y restablecimiento. Además un tipo especial de paquete, llamado de diagnóstico, se usa exclusivamente para este propósito. X.25 los utiliza para indicar condiciones de error que no son cubiertas por otros métodos, como reset y restablecimiento por ejemplo.

Se tienen definidos 66 códigos de diagnóstico para ayudar a determinar problemas en la red o en el DTE.[4] Algunos ejemplos de éstos son los siguientes:

- Paquete sin identificación.
- Paquete demasiado largo o demasiado corto.
- Dirección inválida.
- Problema con la red remota.

3.3 Estándares complementarios

En complemento a los estándares de las capas física y de enlace de datos, se utilizan otros que son parte de X.25.[31] Los más relevantes se mencionan a continuación:

X.1 Clases de servicios de usuario.
X.2 Facilidades de usuario.
X.10 Categorías de acceso.
X.92 Conexiones de referencia para paquetes con transmisiones de datos.
X.96 Señalamientos de llamada en progreso.
X.121 Plan internacional de numeración.
X.213 Servicios de red.

3.4 Situación actual de las redes X.25

X.25 proporciona una solución para el problema del desperdicio de ancho de banda ya que permite combinar efectivamente datos de diferentes fuentes. Sin embargo, el incremento de facilidades del estándar X.25 para la transmisión de los paquetes de datos, y sus capacidades inherentes de corrección de errores, ha traído como consecuencia un overhead que limita severamente la tasa de transmisión de la red.

Cuando se diseñó X.25 se contaba principalmente con redes de líneas analógicas de cobre, que eran ruidosas y estaban expuestas a diferentes interferencias que dificultaban la transmisión de datos. Para poder funcionar efectivamente en este ambiente, X.25 cuenta con procedimientos de corrección de errores de forma que cada nodo de la red puede solicitar la retransmisión de los datos erróneos que recibe.

Era muy importante que los errores se detectaran y corrigieran dentro de la red, dado que el equipo de usuario comúnmente no tenía la inteligencia ni el poder de procesamiento para llevar a cabo esta tarea. Sin embargo, el método de control y corrección de errores conlleva un importante overhead que limita considerablemente el desempeño de la red, principalmente en su velocidad de transmisión de información que es adecuada para la transferencia de datos pero no para aplicaciones de tiempo real como video por ejemplo.

En cobertura, las redes X.25 se encuentran ubicadas después de las líneas de las compañías telefónicas en términos de disponibilidad. A la fecha un gran número de países, principalmente los que se encuentran en vías de desarrollo, usan las redes X.25 como su principal vehículo de transporte de datos.

Al haberse diseñado X.25 en una época en donde predominaban los canales de comunicación ruidosos y el equipo terminal "tonto", los necesarios controles de flujo y de error imponen una importante sobrecarga en la comunicación que hace ineficiente la implementación de este tipo de tecnología en los actuales sistemas de telecomunicaciones que cuentan con cableados de fibra óptica y equipos terminales "inteligentes". Como respuesta apareció Frame Relay que toma ventaja de los nuevos equipos y canales de comunicación eliminando el control de flujo y de error en puntos intermedios, lo que hace al sistema mucho más rápido y eficiente, con la posibilidad de operar a velocidades de 64 Kbps con la posibilidad de alcanzar hasta los 2 Mbps.

En el siguiente capítulo se detalla la tecnología Frame Relay, su principio básico de funcionamiento, ventajas que presenta sobre X.25, tipos de servicios que proporciona, costos de operación y su situación tanto a nivel mundial como nacional.

CAPITULO 4

FRAME RELAY

4.1 Aspectos generales

A Frame Relay, que también se le conoce como Frame-mode bearer service (FMBS), apareció por primera vez en 1988 en la recomendación I.122 de la ITU. En 1990 la ITU publicó dos recomendaciones provisionales: la I.2xy ISDN Frame Relay y la I.3xx Manejo de la congestión en Frame Relay. El trabajo sobre ésta técnica ha tenido más desarrollo en los Estados Unidos de Norteamérica, donde el Instituto Norteamericano de Normatividad (ANSI) ha emitido tres estándares: en 1990 el ANSI T1.606: Arquitectura y descripción de servicio para Frame Relay, en 1991 el ANSI T1.617: Especificación de señalización para Frame Relay y el ANSI T1.618: Aspectos fundamentales del protocolo a ser utilizado con Frame Relay.[31]

Frame Relay es una tecnología de transmisión rápida de paquetes, muy superior a X.25 ya que aprovecha las ventajas que ofrecen los cableados de fibra óptica y los equipos de conmutación digital. Su principio básico de funcionamiento es muy simple; al eliminar los procedimientos de detección y corrección de errores en cada nodo de la red, se incrementa notablemente la velocidad de transmisión. Estas funciones eran necesarias en el estándar X.25 debido a que fue desarrollado en una época en donde predominaba el equipo de conmutación analógica y las redes telefónicas de cobre, que son muy susceptibles a los errores de transmisión.

La detección y corrección de errores así como el control de flujo aún existen, pero se llevan a cabo en las capas superiores de la mayoría de los modernos protocolos de comunicación. Estas funciones se relegan a los extremos de la red en lugar de estar distribuidas en cada nodo .

En el estándar X.25 el procedimiento de control del enlace implicaba el intercambio de tramas de datos y tramas de reconocimiento entre cada nodo de la red. Además, en cada nodo intermedio se debían mantener tablas de estado de cada circuito virtual para fines de administración de la red, control de error y control de flujo. Estos procedimientos traían como consecuencia un considerable overhead.

Frame Relay elimina el overhead de la siguiente manera:

- La señalización del control de la llamada se lleva a cabo en una conexión lógica independiente de los datos de usuario.
- El multiplexaje y la conmutación de las conexiones lógicas tienen lugar en la capa dos en lugar de la tres. De esta forma se elimina toda una capa de procesamiento.
- No existe control de flujo y control de error en cada nodo de la red. Estas funciones son responsabilidad de una capa superior.

En Frame Relay se ha simplificado el proceso de comunicación. Se redujo la funcionalidad del procedimiento requerida en la interfase usuario-red y el procesamiento interno de la red. Con ello disminuye el retraso y se incrementa considerablemente la tasa de transmisión. La recomendación I.2xy indica que Frame Relay se usará a velocidades de acceso de hasta 2 Mbps.[5]

La característica más importante de Frame Relay, en comparación con otras tecnologías, es la transparencia con respecto al protocolo que está siendo transportado. La trama contiene direcciones estándares e información de control que son independientes de los datos.

Dentro de las aplicaciones más relevantes de Frame Relay, están las siguientes:

- Aplicaciones de bloques interactivos de datos.- Por ejemplo las gráficas de alta resolución (videotexto de alta resolución, CAD/CAM), cuyas características comunes son bajo retraso y alta tasa de transmisión.
- Transferencia de archivos.- Para requerimientos de transferencia de archivos muy grandes el retraso no es muy crítico, pero es necesario contar con una tasa de transmisión suficientemente alta que produzca tiempos razonables de envío.

Frame Relay soporta unidades de datos (tramas) de longitud variable. Sin embargo este tipo de tramas implican retraso variable, lo que ocasiona que Frame Relay no sea adecuado para sistemas que son sensibles al retraso, como en el caso de las aplicaciones de voz y video.

4.2 Tipos de circuitos

Al igual que X.25, Frame Relay es un servicio orientado a conexión. Soporta dos tipos de circuitos: circuitos virtuales conmutados (SVC) y circuitos virtuales permanentes (PVC). Los primeros requieren del establecimiento previo del enlace y de su posterior liberación. Por otra parte, en los circuitos virtuales permanentes la conexión física siempre se encuentra disponible, su establecimiento y liberación se lleva a cabo por medio de comandos enviados por el sistema administrador de la red.

Los dos tipos de circuitos se consideran conexiones virtuales en el sentido de que los recursos de la red no se usan a menos que se requiera transmitir datos.

4.3 Procedimiento LAP-D

El estándar Frame Relay hace uso de la capa 2 del modelo OSI, que está basada en la definición de la ITU del procedimiento de acceso al enlace para el canal D (LAP-D). En la capa 2 la red soporta únicamente las siguientes funciones esenciales requeridas por Frame Relay:

- Delimitación de trama, alineamiento y transparencia.
- Multiplexaje y demultiplexaje de trama mediante el uso del campo de dirección.
- Inspección de la trama para verificar que consiste de un número entero de bytes.
- Inspección de la trama para verificar que no es demasiado larga o demasiado corta.
- Detección de errores de transmisión (pero no corrección).

El procedimiento LAP-D es producto de una mejora, llevada a cabo durante el proceso de estandarización de ISDN, del LAP-B que se usa en X.25. Se aplica en el canal D de la ISDN, que transporta información de usuario entre las entidades de la red.

LAP-D provee de dos tipos de servicios: transferencia de información sin reconocimiento y transferencia de información con reconocimiento. El más común es el servicio de transferencia de información con reconocimiento, en el cual la información de la capa 3 se envía en tramas que incluyen números de secuencia. En el procedimiento se incluyen mecanismos de control de error y de flujo.

Por otra parte, en la operación sin reconocimiento la información de la capa 3 se transfiere en tramas sin numeración. Las tramas erróneas simplemente son descartadas. El servicio no garantiza que los datos enviados por un usuario serán entregados a su destino, tampoco informa al emisor si el intento de entrega fracasó. No provee, además, de ningún mecanismo de control de flujo ni de control de error. Sin embargo, este servicio permite la transferencia rápida de datos y es muy útil para procedimientos de administración, como por ejemplo alarmas y otros tipos de mensajes que se necesitan difundir a través de la red.

En la figura 4.1 se ilustran las capas que componen a Frame Relay.

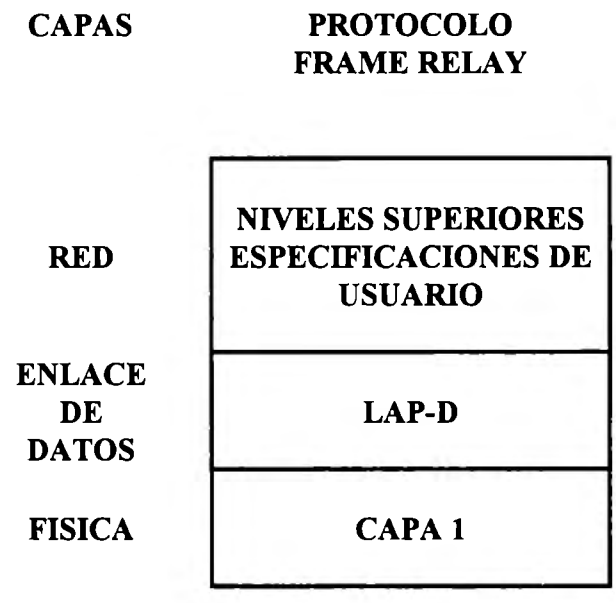


Figura 4.1 Estándar Frame Relay.

Para efectuar la transferencia de datos es necesario crear un enlace lógico entre los dos usuarios. Este proceso implica tres fases: establecimiento de la conexión, transferencia de datos y terminación de la conexión.

4.4. Estructura de la trama LAP-D

Toda la información del usuario, los mensajes de control así como los parámetros del procedimiento se transmiten en forma de tramas. La trama Frame Relay está conformada con el estándar HDLC. En la figura 4.2 se muestra su estructura.

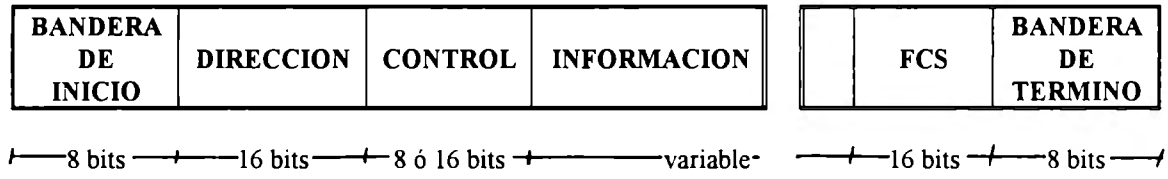


Figura 4.2 Formato de la trama LAP-D.

Cada uno de los campos que componen a la trama LAP-D tienen diferentes funciones, mismas que se describen a continuación:

Campos de banderas.- Las banderas delimitan a la trama en sus dos extremos y tienen el siguiente patrón único: 01111110. Es posible utilizar un solo campo para delimitar el término de una trama y el inicio de otra. En los dos extremos de las interfases usuario-red los receptores buscan continuamente la secuencia de las banderas para efectos de sincronización.

Campo de dirección.- LAP-D tiene que manejar dos niveles de multiplexaje. En el primer nivel pueden existir varios dispositivos de usuario compartiendo la misma interfase física. En el segundo, dentro de cada dispositivo de usuario, pueden existir diferentes tipos de tráfico, especificamente datos en paquetes conmutados y señalización de control. Para manejar estos niveles de multiplexaje, LAP-D utiliza un formato de dirección compuesto por un identificador de terminal final (TEI) y por un identificador de punto de acceso al servicio (SAPI).

El TEI identifica a una entidad específica del usuario. La convención de direccionamiento en LAP-D es como sigue:

- 0 a 63: Equipo terminal con asignación TEI fija.
- 64 a 126: Equipo terminal con asignación TEI dinámica.
- 127: Todo el equipo terminal (para aplicaciones de difusión).

La función de administración asigna y remueve los TEIs de la red. Comúnmente se le asigna a cada dispositivo del usuario un identificador único de equipo terminal. El proceso de asignación, verificación y borrado de TEIs es automático de forma tal que el usuario puede cambiar, agregar o retirar equipo a voluntad sin notificación previa al administrador de la red.

Los SAPIs identifican usuarios de la capa 3 de LAP-D. Se han asignado diversos valores, por ejemplo, un SAPI con valor 0 se usa para llamar a los procedimientos de control para el manejo de los circuitos del canal D. El valor 16 se reservó para la comunicación en modo de paquetes en el canal D usando el nivel 3 de X.25 y el valor 63 se usa para el intercambio de información de administración de la capa 2.[18]

Para interpretar los valores SAPI se requiere conocer su TEI asociado. El TEI y el SAPI identifican de manera única a los usuarios de la capa 3 y a las conexiones lógicas. En este contexto se le conoce a la combinación TEI y SAPI como identificador de conexión de enlace de datos (DLCI).

Todos los mensajes LAP-D se categorizan en comandos o respuestas, por lo que el campo de dirección incluye un bit conocido como C/R. Este bit se usa para indicar el tipo de mensaje que contiene la trama.

Campo de Control.- LAP-D define tres tipos de tramas, cada una con un formato de campo de control diferente. Las tramas de transferencia de información transportan los datos del usuario a ser transmitidos así como los datos de control de flujo y de error. Por otra parte, las tramas de supervisión proveen del mecanismo go-back-n de requerimiento automático de retransmisión (ARQ), cuando no se usa retroalimentación de información para el control de error y de flujo. Finalmente, las tramas no numeradas proveen de funciones suplementarias de control del enlace y se usan también para soportar la operación de transmisión sin reconocimiento.

El primer bit o los dos primeros bits del campo de control, según sea el caso, identifican al tipo de trama. Todos los formatos del campo de control incluyen al bit poll/final (P/F).

Campo de Información.- Este campo sólo está presente en las tramas de transferencia de información y en algunas tramas no numeradas. Puede contener cualquier secuencia de bits pero debe consistir de un número entero de bytes. Su longitud es variable dependiendo del máximo definido por el sistema que se esté usando.

Campo de verificación de secuencia de trama (FCS).- Este campo es un código de verificación de redundancia cíclica de detección de errores, conocido comúnmente como CRC, que indica si la trama ha sufrido distorsiones durante su transporte.

4.5 El Proceso Frame Relay

El proceso Frame Relay consiste esencialmente del enrutamiento de tramas basado en los valores DLCI. Este proceso es ejecutado por un manejador de tramas bajo el control de un nodo de la red. A cada manejador de tramas se conecta un número de canales físicos, cada uno de los cuales puede ser canal B de 64 kbs, canal H de alta velocidad o canal D.

El manejador de tramas identifica el tipo de canal por medio de un identificador de canal físico (PCI). Un valor PCI puede estar asociado a un canal o a un grupo de canales conectados a cada nodo. Mediante el valor PCI y el valor DLCI contenido en cada una de las tramas recibidas, el manejador las puede enrutar adecuadamente. En general la función de enrutamiento está controlada por una tabla de conexiones que reside en el manejador.

4.6 Análisis comparativo de X.25 y Frame Relay

X.25 fue desarrollado en una época en la cual los nodos terminales no eran muy inteligentes y las líneas de transmisión eran de muy baja calidad en comparación con las existentes en la actualidad. Por este motivo, los paquetes X.25 son demasiado grandes con el objeto de garantizar que los errores de transmisión de enlace a enlace de la red puedan ser corregidos en cada nodo.

Mientras que un sistema X.25 es capaz de monitorear la secuencia de los paquetes, proveer de control de congestión, enviar y recibir mensajes de reconocimiento, almacenar y enviar paquetes, detectar paquetes dañados y solicitar su retransmisión, un sistema Frame Relay efectúa un procesamiento mínimo entre los nodos, no almacena paquetes y descarta las tramas erróneas causadas por congestión o por errores en los bits.

La conmutación de tramas en Frame Relay se lleva a cabo en únicamente dos capas, en comparación X.25 utiliza las tres primeras capas del modelo OSI. X.25 trabaja en la capa física, en la capa de enlace de datos y en la capa de red. En contraste, Frame Relay elimina virtualmente la capa de red y varios aspectos de la capa de enlace de datos, como se ilustra en la figura 4.3.

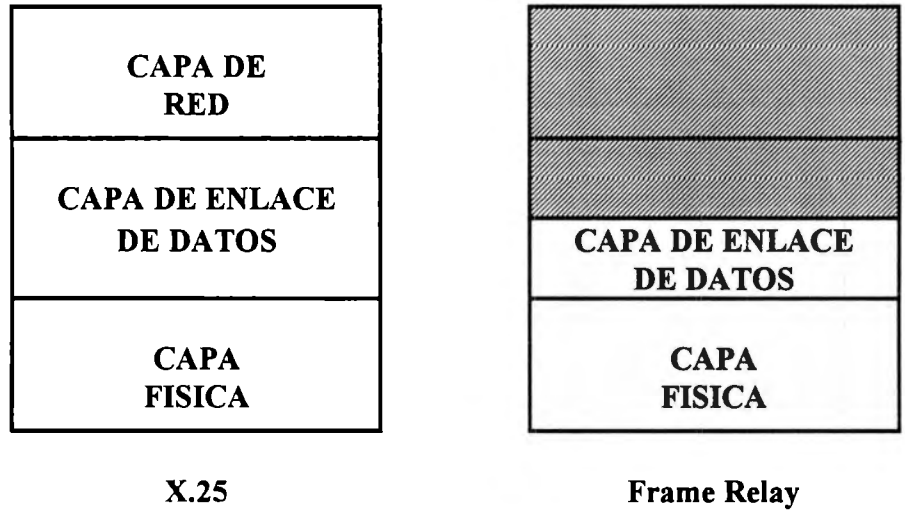


Figura 4.3 Capas utilizadas por X.25 y Frame Relay.

En la tecnología Frame Relay los nodos inteligentes envían los datos a la capa de enlace en donde son encapsulados (trama LAP-D). En forma alternativa, el nodo inteligente puede enviar los datos previamente encapsulados a la red. En cualquier caso esta trama contiene información de enrutamiento que no se encontraba previamente en la capa dos, eliminando así la necesidad de que la red examine el nivel tres, que corresponde a la capa de red.

Debido a que Frame Relay transmite sobre líneas digitales de alta calidad con probabilidades de error muy bajas, no se requiere implementar la función de corrección de errores en los nodos de la red. Cualquier error que pudiera ocurrir se identifica y corrige en los puntos terminales inteligentes, que ejecutan procedimientos de extremo a extremo de la red.

Mientras que X.25 realiza veintisiete funciones, Frame Relay lleva a cabo únicamente ocho, situación que permite lograr velocidades de transmisión mucho más altas que en la tecnología X.25. Esto da como resultado que el tiempo de procesamiento se reduzca de 30 a 40 milisegundos en X.25, a únicamente de 3 a 5 milisegundos en Frame Relay.[18]

Una de las ventajas de Frame Relay, es que su equipo usa hardware similar al utilizado por los equipos actuales de conmutación de paquetes, lo que hace posible una evolución a redes más rápidas por medio de mejoras en el software. Otra de las ventajas es que esta tecnología no es sensible al protocolo que se transporta arriba de la capa 2 del modelo OSI. Por otra parte, la principal desventaja de Frame Relay es no ser capaz de transportar servicios de tiempo real como voz y video debido al atraso variable que introduce.

4.7 Situación actual de Frame Relay

En cobertura mundial Frame Relay se encuentra entre las redes X.25 y las ISDN. En costo es más barato que utilizar las líneas de las compañías telefónicas. Esta reducción de costo se debe principalmente a que es posible compartir la infraestructura con un gran número de usuarios. En promedio el precio del servicio es un veinticinco por ciento menor que el equivalente de una red privada.

Otra de las razones de la popularidad de Frame Relay es su confiabilidad y su interoperabilidad con ATM. En los Estados Unidos de Norteamérica el crecimiento de la demanda del servicio crece a razón de 300 por ciento cada año y actualmente 1,800 empresas estadounidenses ya utilizan estas redes para el manejo de su información. El desmesurado

crecimiento en la demanda ha ocasionado tiempos de espera de por lo menos cuatro meses, a pesar de que un gran número de compañías de telecomunicaciones ofrecen el servicio.

Si se toma en cuenta que en nuestros días los canales de 64 Kbps a través de fibra óptica son comunes y que la tecnología Frame Relay es más económica que X.25, además de su posible escalabilidad hacia ATM, la elección de Frame Relay por un gran número compañías a nivel mundial se puede considerar natural.

En nuestro país el Banco de México fue la primera institución a nivel nacional en contar con una red Frame Relay. Fue construida por la empresa Intersys y se integrará a la red Intervan que enlazará las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara, contará además con conexiones a la red Wilpak de la compañía estadounidense Wiltel.[126]

El 9 de junio de 1994 la empresa Telnor, filial de Teléfonos de México, inauguró la primera red pública de datos en México y América Latina con tecnología Frame Relay. La primera etapa de la red, llamada TELNORPAC, consistió en tres nodos con capacidad de comunicación X.25 y Frame Relay de Sprint-Alcatel, interconectados entre sí mediante enlaces digitales de fibra óptica y soportado con radios digitales.

Posteriormente se incorporaron nodos conmutados de Frame Relay exclusivamente, de las marcas Cascade y Newbridge, que permitieron probar la interconectividad entre diferentes equipos, así como sus ventajas y limitaciones. Actualmente se han agregado concentradores de tráfico de datos de baja capacidad y se cuenta con un nodo Cascade en la Ciudad de México.

Dentro de los clientes de TELNORPAC se encuentran el CETYS de Tijuana, la Universidad de Baja California, Kenworth Mexicana, el Consorcio Red Uno y la propia Telnor. Esta última ha sido la empresa más beneficiada ya que desarrolló una red universal que soporta todos sus sistemas: desde el Sistema de Apoyo a la Operación hasta sus Sistemas de Administración de la Red Pública Telefónica.

Es importante señalar que Frame Relay no compite con ATM, tecnología que se detalla a profundidad en el siguiente capítulo, pero se puede considerar como una plataforma acorde para esperar ATM, ya que solo implica una inversión en software y se aprovecha el potencial de la inversión en hardware con la ventaja de poder migrar a ATM una vez que esté totalmente estandarizado, sin notar grandes cambios y con el beneficio de contar con un mucho mayor

ancho de banda y la posibilidad de transmitir en forma totalmente integrada y en tiempo real datos, audio y video.

CAPITULO 5

ATM

5.1 Introducción

Por medio de la tecnología de modo de transferencia asíncrono, ATM, es posible crear sistemas de comunicaciones que integren datos, voz, video, imágenes y aplicaciones multimedia en general que se ejecutarán en LANs, MANs y WANs enlazadas a nivel mundial. ATM es capaz de solucionar los problemas actuales de interconexión de redes, creando una red universal en donde múltiples usuarios podrán compartir, en forma síncrona o asíncrona, imágenes, texto, video y voz a través de sus estaciones de trabajo enlazadas a la red.

El número de usuarios de las redes crece día con día a un ritmo sin precedentes y con ello la demanda de ancho de banda. Para evitar que las redes se vuelvan más lentas, los administradores están usando ruteadores o puentes para dividir las LANs en más segmentos con menos usuarios. Esta solución alivia la congestión pero incrementa la complejidad de la administración de la red, además de que introduce retardos y variaciones que dificultan la introducción de aplicaciones en tiempo real.

Aunado a lo anterior, la rápida migración de los sistemas centralizados a los sistemas distribuidos complicará aún más la interconexión de las redes. Por otra parte, los equipos de cómputo son cada vez más poderosos y los servicios de multimedia, video y nuevas aplicaciones requerirán de un mayor ancho de banda.

Existen varios elementos que deben tomarse en cuenta ante el desarrollo de nuevos servicios. Entre las demandas del mercado de las telecomunicaciones destaca la necesidad de gestionar y transportar cada vez mayores volúmenes de información en forma más económica. También existe un interés común en la flexibilidad de los futuros sistemas de comunicaciones para suministrar y recibir ancho de banda a petición de manera que sea posible variar el ancho de banda durante el transcurso de una llamada de acuerdo a los requerimientos de la aplicación, realizar transmisiones a distintas velocidades en un mismo canal y establecer una llamada con varias conexiones (como en el caso de las multiconferencias), por ejemplo.

Asimismo se tiene una demanda de nuevos servicios que sólo la banda ancha puede soportar, tales como video a petición del usuario, compras interactivas para los abonados residenciales, CAD/CAM distribuido, visualización y diseño en ingeniería, imágenes médicas, aplicaciones multimedia en tiempo real y audio de alta fidelidad, entre otros.

En la actualidad, la tecnología ATM se presenta como la mejor opción para superar estos nuevos requerimientos y tendencias de las redes de comunicaciones. Con su capacidad de 45 Mbps a 2.488 Gbps, ATM puede soportar equipos de computo muy poderosos y permitirá la implementación de aplicaciones con grandes requerimientos de ancho de banda que las actuales LANs y WANs no pueden soportar.[82]

ATM es un sistema universal que puede transportar cualquier tipo de información ya que es transparente a los datos contenidos en las unidades de transferencia, conocidas como celdas. El sistema desconoce y no le es relevante el tipo de información que transporta. Puede ser voz, audio, texto ASCII, series de tramas Ethernet o FDDI, o una combinación de todos los anteriores. Cada tipo de datos tiene diferentes características, por ejemplo los datos de computadora generalmente son en ráfagas, mientras que los de video son continuos. ATM fue diseñado para manejar estas diferencias.

La transferencia de la información se lleva a cabo por medio de las celdas ATM, formadas por 53 bytes (5 bytes de encabezado y 48 bytes de datos de usuario), que pueden alcanzar su destino final a través de diferentes rutas. Antes de iniciar la transmisión de los datos entre dos nodos terminales de la red, es necesario establecer una conexión entre estos puntos por medio de un protocolo de señalización. Una vez efectuada la conexión, las celdas ATM se enrutan dinámicamente conforme viajan a través de la red. Cada celda contiene campos que identifican la conexión a la cual pertenece. De hecho, celdas del mismo segmento de información que está siendo transmitido pueden tomar rutas diferentes dentro de la red. Esta característica permite que los datos puedan ser dinámicamente re-enrutados en caso de fallas en la red.

El tamaño tan reducido y fijo de las celdas permite superar el problema de retardo variable que se tiene en las redes de conmutación de paquetes, debido principalmente a la longitud variable de éstos. Dado que se pueden transmitir diferentes tipos de información en estas pequeñas celdas, el retardo que sufrirán las que transportan servicios en tiempo real será muy pequeño.

Los ruteadores típicos que se utilizan en las redes deben de ser lo suficientemente inteligentes para manejar celdas de información con longitud variable. En cambio, los conmutadores ATM manejan celdas que son siempre del mismo tamaño. Esta característica permite a la tecnología ATM llevar a cabo las funciones de conmutación en el hardware. Como la conmutación en hardware es mucho más rápida que el enrutamiento en software, se alcanzan velocidades extraordinarias. Mientras que una red Ethernet y una red Token Ring funcionan a velocidades de 10 y 16 Mbps respectivamente, las velocidades de ATM inician a partir de los 155 Mbps. La primera generación de conmutadores ATM alcanzan velocidades de transmisión de 2.4 Gbps.[75]

Una de las principales desventajas de las redes LAN actuales es que usan un medio de transmisión compartido. En lugar de efectuar la transmisión a través de una línea dedicada entre dos estaciones de trabajo, utilizan un solo medio para transportar la información de una aplicación en particular, misma que se mezclará con otras más. En este contexto, cada nodo en la red utiliza un cableado común para comunicarse con el resto de los componentes que integran el sistema.

Al aumentar el número de nodos en la red se incrementa la carga más no la capacidad. Aún en una red muy rápida basada en fibra óptica, como por ejemplo la FDDI que funciona a 100 Mbps, la capacidad de transmisión se comparte con todos los nodos de la red. De esta forma, la velocidad máxima de transmisión que alcanzará una LAN con medio de transporte compartido será tan alta como la velocidad de su nodo más lento.

En contraste, ATM utiliza un medio conmutado que permite asignar capacidades de transmisión máximas a cada nodo de la red. El total de ancho de banda teórico de un conmutador ATM es igual al ancho de banda máximo de cada línea multiplicado por el número de enlaces conectados al conmutador.

Las interfases ATM son mucho más simples de construir que las interfases de las LANs. ATM está definido para enlaces punto a punto entre los nodos, esto significa que existe una conexión dedicada entre dos dispositivos ATM cualquiera. Las LANs, que usan un medio de transmisión compartido, requieren de un complejo control de acceso al medio (MAC). Por otro lado, las interfases ATM no requiere de esta funcionalidad. Este hecho implica que no está íntimamente ligado a un medio particular de transmisión o a una velocidad de transferencia. Por tal razón, ATM puede operar sobre enlaces de cualquier velocidad o sobre cualquier tecnología de capa física.

En la actualidad, las organizaciones tienen que instalar dos redes dispares, una red basada en multiplexaje por división de tiempo (TDM) para tráfico de voz (como un PBX), y otra red basada en conmutación de paquetes para tráfico de datos (como las LANs). El costo de esta configuración en términos de cableado duplicado y capacidades de administración diferentes, puede ser sustancial. Por otra parte, la falta de una red integrada obstaculiza el desarrollo de aplicaciones multimedia, en las cuales las cadenas de diferentes tipos de tráfico como voz, video y datos, necesitan ser cuidadosamente sincronizadas. Este tipo de problemas originaron el desarrollo y la posterior adopción de la tecnología ATM. El modo de transferencia asíncrono combina las ventajas de la conmutación de circuitos y la conmutación de paquetes ya que tiene un alto rendimiento, bajo retardo, transparencia a la información y un uso eficiente del ancho de banda.

5.2 Desarrollo de la tecnología ATM

A principios de los ochentas, la ITU desarrolló los estándares para la Red Digital de Servicios Integrados de banda angosta (N-ISDN) con el fin de que las redes públicas fueran capaces, aunque en forma limitada, de transportar tráfico digital de datos. Estos especifican dos tipos de interfases; un acceso a tasa de transmisión básica de 144 Kbps y un acceso a tasa de transmisión primaria de 1.544 Mbps o 2.048 Mbps. Pero estas tasas de transmisión eran bajas en comparación con las velocidades de las tecnologías de las LANs, por ejemplo Ethernet que tiene una capacidad de transmisión de 10 Mbps y que eventualmente alcanza los 100 Mbps.

A mediados de los ochentas los proveedores de telecomunicaciones públicas detectaron la necesidad de más ancho de banda para el transporte de datos, debida en gran parte a la generalización de la adopción de equipos digitales de comunicaciones y a la creciente importancia económica del tráfico de información. En 1985 el Grupo de Trabajo XVII de la ITU inició los trabajos para evolucionar la N-ISDN a una red de banda ancha, conocida como Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (B-ISDN), que estaría basada en fibra óptica. Uno de los principales objetivos de este grupo era definir una tecnología que fuera capaz de transportar todos los tipos de tráfico a través de una misma red, con el objeto de evitar muchos de los problemas que se originan al tener redes especializadas.

Dado que los requerimientos de ancho de banda crecían en forma exponencial, también se buscaba definir una tecnología con capacidades de transmisión muy superiores a las

manejadas por las ya existentes. Mientras que la N-ISDN se definió a tasas de transmisión del orden de megabits, el objetivo de la B-ISDN era operar a varios Gbps. Finalmente se trataba de proporcionar ancho de banda sobre demanda para cumplir los requerimientos de cualquier aplicación de usuario, ya que la asignación estadística de la misma no es óptima y genera desperdicios.

La ITU examinó diferentes tecnologías, entre ellas variantes de Multiplexión por División de Tiempo (TDM), como el Modo de Transferencia Síncrona (STM), y variantes de conmutación de paquetes como la conmutación rápida de paquetes. En 1988 la ITU decidió basar el desarrollo de la B-ISDN en el Modo de Transferencia Asíncrono (ATM), lo cual fue formalizado a través de un grupo de recomendaciones (I.121: Aspectos de Banda Ancha de ISDN) descritas en el "Libro Azul" que se publicó a fines de los ochentas. En ocasiones se utiliza el término ATM como sinónimo de la B-ISDN, pero es importante señalar que la B-ISDN es solamente uno de los posibles servicios que pueden utilizar la tecnología ATM.

A pesar de que originalmente ATM fue concebido como la tecnología base de conmutación para el concepto B-ISDN, se le ha encontrado aplicación inmediata en las redes locales y de área extendida de todos los tipos.

En 1989 se acordó que el tamaño de las celdas ATM fuera de 53 octetos, 5 para el encabezado y 48 para la información, la selección del tamaño corto de la celda reduce significativamente el retardo de extremo a extremo y la variación en retardo (conocida comúnmente como jitter). De acuerdo con los análisis que se efectuaron para cada parámetro (eficiencia en la transmisión, retardo y complejidad en la implementación), se pudo elegir un tamaño de campo de información entre 32 y 64 bytes. Europa y Japón estuvieron a favor de 32 octetos y los Estados Unidos de Norteamérica a favor de 64 octetos ya que estas dimensiones eran adecuadas para sus respectivas redes. Finalmente la ITU eligió un tamaño de campo de información de 48 bytes.[42]

En 1990 surgió el primer estándar para ATM y debido al interés de esta tecnología en el ámbito de las redes privadas, se creó en octubre de 1991 el ATM Forum que inició sus trabajos en noviembre del mismo año con cuatro miembros. El objetivo original de los fundadores de este foro era asegurar la interoperabilidad entre las implementaciones públicas y privadas de ATM con base en estándares internacionales y promover la cooperación industrial. En la actualidad cuenta con más de 370 miembros que están acelerando el desarrollo de los productos y servicios ATM en el ambiente privado.

En 1992 la ITU acordó las siguientes dieciséis recomendaciones relacionadas con la B-ISDN y ATM:

- I.113 Vocabulario de términos para aspectos de banda ancha de ISDN.
- I.121 Aspectos de banda ancha de ISDN.
- I.150 Características funcionales de ATM B-ISDN.
- I.211 Aspectos de servicio de B-ISDN.
- I.311 Aspectos generales de la red B-ISDN.
- I.321 Modelo de referencia de protocolos B-ISDN y sus aplicaciones.
- I.327 Arquitectura funcional de la red B-ISDN.
- I.361 Especificaciones de la capa ATM B-ISDN.
- I.362 Descripción funcional de la capa de adaptación ATM (AAL) B-ISDN.
- I.363 Especificación de la capa de adaptación ATM (AAL) B-ISDN.
- I.364 Soporte de servicios de datos de banda ancha sin conexión en B-ISDN.
- I.371 Control de tráfico y congestión en B-ISDN.
- I.413 Interfase entre usuario y red B-ISDN (UNI).
- I.414 Aspectos generales de las recomendaciones de la capa 1 para accesos de usuario a ISDN y B-ISDN.
- I.432 Interfase entre usuario y red B-ISDN -Especificación de la capa física.
- I.610 Principios de operación y mantenimiento (OAM) para accesos a la B-ISDN.[9]

En 1993 aparecieron en Europa los primeros servicios públicos de B-ISDN para transporte de datos. Mientras que en junio de 1994 la Comunidad Económica Europea inició la prueba de una red piloto ATM llamada RACE que terminó en 1995 y cuya segunda fase conocida como ACTS se extiende hasta 1998. Esta red cuenta con la participación de dieciocho empresas de telecomunicaciones de quince países europeos. En el capítulo 11 se describe a mayor detalle este proyecto.

5.3 Arquitectura de las redes ATM

ATM transporta los datos en celdas de longitud fija. El encabezado, que está compuesto de cinco octetos, contiene la identificación de la ruta que seguirá la celda a través de la red. El espacio reservado para los datos de usuario, 48 octetos, incluye encabezados y colas requeridos por los protocolos de las capas superiores.

ATM es una tecnología fundamentalmente orientada a conexión. Esto significa que es necesario establecer un enlace (circuito virtual) antes de efectuar la transferencia de información entre dos estaciones de trabajo. Aparentemente las redes no orientadas a conexión son más rápidas, ya que no necesitan establecer el enlace antes de transmitir y requieren de terminales menos inteligentes. Pero este desempeño se ve mermado por el incremento en la complejidad de la red, ya que los paquetes de datos necesitan transportar en sus encabezados suficiente información que les permita ser enrutados a través de la red.

Uno o más conmutadores ATM pueden conmutar celdas a lo largo de la trayectoria entre dos nodos finales. Los conmutadores y las conexiones existentes entre ellos se pueden considerar medios compartidos ya que estos pueden conmutar y transportar celdas de diferentes circuitos virtuales. Sin embargo, cada nodo final tiene su propio enlace dedicado en la red y no tiene que competir por una cantidad fija de ancho de banda como sucede con las redes LAN.

Cada celda ATM contiene dos campos: un identificador de la ruta virtual (VPI) y un identificador de circuito virtual (VCI), mismos que se utilizan para identificar las conexiones. Los VPI/VCI tienen únicamente significado local, ya que asocian a una celda en particular con su circuito virtual a lo largo del enlace. Por medio de este par de identificadores los conmutadores ATM pueden direccionar fácilmente las celdas hacia el puerto de salida apropiado. Esta función está implementada en hardware, lo que hace a los conmutadores ATM rápidos y eficientes.

Las redes ATM alcanzan altas velocidades de transmisión debido al uso de celdas pequeñas de longitud fija y de conexiones virtuales predeterminadas. Una red ATM soporta cualquier combinación de velocidades, desde 45 Mbps hasta el orden de Gbps. Además la reservación de ancho de banda es flexible y dinámica, el ancho de banda se usa únicamente cuando un nodo tiene datos por enviar.

5.3.1 Interfases ATM

Una red ATM está constituida básicamente por nodos terminales y nodos intermedios (conmutadores), todos ellos unidos por enlaces ATM punto a punto.

Se han definido dos tipos principales de interfases en las redes ATM que son la interfase entre usuario y red (UNI) y la interfase red-red (NNI). Dado que los estándares de ATM se

definieron inicialmente para redes públicas, la UNI era originalmente la interfase entre un dispositivo terminal ATM y un conmutador público ATM. Cuando esta tecnología se empezó a implementar en las redes LAN, el término UNI se aplicó para definir la interfase entre cualquier dispositivo terminal de usuario y un conmutador ATM, público o privado.

En forma similar, el NNI se diseñó para ser usado como interfase entre conmutadores ATM públicos, pero en la actualidad este término se utiliza para describir la interfase entre conmutadores ATM, ya sea públicos o privados.

A pesar de que existen diferentes interfases ATM, todas son semejantes y fueron diseñadas para ser compatibles en la construcción de una red unificada que pueda ser fácilmente integrada a las redes globales. Su principal diferencia está relacionada a la administración de la conexión y a la señalización. Por ejemplo, la diferencia entre una UNI y una NNI es que en la primera el único tipo de señalización es la necesaria para establecer el circuito virtual para una transferencia de datos específica, mientras que la señalización en una NNI incluye además intercambio de información, como las tablas de enrutamiento. Se utiliza una UNI entre un conmutador privado ATM y uno público, debido a que la reglamentación de las redes públicas prohibe el intercambio de cualquier otra información que nos sea la de establecimiento de la conexión entre los dos tipos de dispositivos.[32]

5.3.2 Principios básicos de funcionamiento de ATM.

ATM es fundamentalmente una tecnología orientada a conexión. Cuando un nodo terminal necesita enviar información a otro nodo, manda un requerimiento de conexión a la entidad destino por medio de una señalización a través de la UNI. Este requerimiento pasa por la red hasta alcanzar su destino final. Si la terminal está de acuerdo en formar la conexión, se establece entonces un circuito virtual a lo largo de la red ATM. Este circuito virtual está plenamente identificado por la combinación única de los valores VPI/VCI.

El hecho que un circuito virtual se establezca en un enlace determinado, no impide que otros más se establezcan en el mismo. El único requerimiento es que la combinación de valores VPI/VCI para cualquier circuito virtual sea única. Para el caso de la UNI los valores de VPI/VCI son elegidos por las estaciones terminales, mientras que en la red son asignados por medio de mecanismos de señalización. Estos valores son los mismos para cada dirección del circuito virtual a través de un enlace dado.[42]

Los nodos terminales también negocian las características del circuito deseado, como el ancho de banda promedio, variaciones posibles en la tasa de transmisión de los datos y necesidades de sincronización para canales síncronos; esto determina la calidad de servicio requerida por el circuito. La red utiliza esta información para asignar el ancho de banda apropiado. Al hacer la red este dimensionamiento se asegura, con base en probabilidades, que no se establezcan más circuitos virtuales en un enlace de los que sea capaz de soportar y que se cumplan los requerimientos de calidad de servicio de cada circuito virtual. Si la red no puede cumplir con los requerimientos de un circuito virtual con características de tráfico particulares, la solicitud de establecimiento de conexión será rechazada hasta que se tenga suficiente ancho de banda disponible. Lo anterior es conocido como control de admisión.[12]

Una vez que se establece el circuito virtual entre los dos nodos terminales, se efectúa el intercambio de información enviando celdas ATM a través de sus respectivos UNI. Cada una de ellas contiene información que ha sido fragmentada, paquetizada y colocada en celdas ATM. Este proceso de segmentación se puede aplicar a cualquier tipo de tráfico incluyendo paquetes LAN, voz digitalizada o video. Cada celda ATM contiene los valores de la combinación VPI/VCI asignados al circuito virtual en cada UNI. Si un nodo terminal en particular tiene asignados más de un circuito virtual a través de la UNI, puede intercalar las celdas de cada circuito con base en la demanda, clase de servicio, prioridad y otros parámetros. Las únicas restricciones impuestas son las que aseguran que se cumplan los requerimientos de calidad del servicio y que los datos de un circuito virtual en particular deben de ser transmitidos en orden.

Las celdas transmitidas a través de la UNI se transportan a altas velocidades de enlace a enlace por medio de los conmutadores ATM, cada uno de los cuales cambia el valor de VPI/VCI apropiadamente y guía a la celda de un puerto de entrada a un puerto de salida adecuado hasta alcanzar finalmente la UNI de la estación terminal destino. Para los conmutadores ATM el tipo de información que contienen las celdas es irrelevante, ya que su función principal es enrutarlas correctamente. Esta simplicidad implica poco procesamiento en los nodos intermedios, lo cual resulta en mayores velocidades de transmisión.

5.4 Protocolos ATM

Las redes ATM, al utilizar una serie de protocolos en capas, pueden garantizar la calidad del servicio para diferentes tipos de tráfico, asignar ancho de banda a los circuitos en base a

demanda y proveer de altas velocidades de transmisión a través de diferentes medios. Cada una de estas capas proporciona servicios a las capas superiores e inferiores. Los protocolos de ATM están definidos en tres capas de un modelo de referencia similar al modelo OSI. Estas son las siguientes:

- Capa de Adaptación ATM (AAL).

- Capa ATM.

- Capa Física.

Los datos y la información de control de las capas superiores de usuario y de control pasan a través de estas tres series de protocolos.

El modelo de referencia de los protocolos ATM, mostrado en la figura 5.1 y que se describe a continuación, es más complejo que el modelo OSI ya que incorpora planos de usuario, de control y de administración. Sin embargo, la operación básica de ATM se encuentra contenida en las tres capas principales de protocolos.[20]

Plano de Usuario.- A La porción del modelo asignada para la transferencia de datos de extremo a extremo o de usuario a usuario se le conoce como Plano de Usuario (U-Plane). En él se encuentran los mecanismos de control de flujo y de recuperación de estados de error entre otros.

Plano de Control.- En este plano (C-Plane) se encuentran definidos los protocolos que soportan la señalización. Es responsable del control de la llamada y de las funciones de control de la conexión.

Plano de Administración.- Este plano (M-Plane) es el encargado de proporcionar el control para los nodos ATM. Se incluyen dos tipos de funciones conocidas como Funciones de la Capa de Administración y Funciones del Plano de Administración. El primer tipo es responsable de la administración de cada una de las capas ATM, función que lleva a cabo por medio de una entidad de administración para cada capa. Por otra parte, el Plano de Administración provee de la coordinación entre los demás planos.

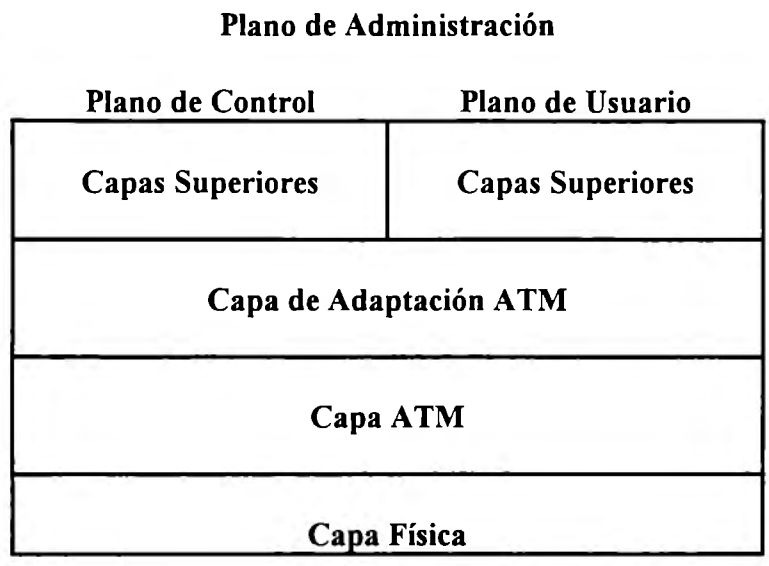


Figura 5.1 Modelo de referencia para los protocolos ATM.

5.4.1 Funciones de la capa física

La capa física transporta celdas ATM entre dos o más nodos de las redes ATM. Además de las funciones específicas de la capa uno del modelo OSI, garantiza dentro de una cierta probabilidad la integridad del encabezado de las celdas y une las celdas que contienen información de usuario con celdas no asignadas con el fin de generar un flujo continuo de bits a través del medio físico.

La capa física se subdivide en dos subcapas: la Subcapa del Medio Físico (PM) que soporta las funciones que dependen únicamente del medio de transmisión y la Subcapa de Convergencia de Transmisión (TC) que convierte las cadenas de celdas ATM en bits para ser transportados a través del medio físico.

Subcapa del Medio Físico.- Esta subcapa es responsable de la correcta transmisión y recepción de bits, incluyendo la generación y recepción de formas de onda apropiadas al medio

físico, inserción y extracción de la información de sincronía y si es necesario, conversión entre señales eléctricas y ópticas.

Subcapa de Convergencia de Transmisión.- Esta subcapa lleva a cabo seis funciones básicas:

1.- Generación y recuperación de las tramas transmitidas. Esta función permite generar y mantener la estructura apropiada de la trama de acuerdo al régimen de transmisión de los bits.

2.- Adaptación de las tramas al sistema de transmisión utilizado. En esta función se paquetizan las celdas ATM dentro de las tramas que las transportarán. Los posibles sistemas de transmisión están basados en la Jerarquía Digital Síncrona (SDH) o en la Red Optica Síncrona (SONET), Jerarquía Digital Plesiocrona (PDH) o bien, basados en celdas. El ATM Forum incluyó a FDDI como una opción para la interfase usuario-red.

3.- Delimitación de celdas. Esta subcapa también es responsable de mantener las fronteras de las celdas bien definidas a fin de permitir su recuperación en el extremo de recepción.

4.- Generación y revisión del Verificador de Error en el Encabezado (HEC). Esta secuencia de chequeo se inserta en el encabezado . En el receptor se recalcula el valor del HEC y se compara con el valor recibido. En caso de error se corrige si es posible, en caso contrario la celda se descarta.

5.- Desacoplamiento de la velocidad de transmisión de celdas. En esta función se insertan y se suprimen celdas empleadas para adaptar la velocidad de transferencia de las celdas a la capacidad existente en el sistema de transmisión.

6.- Scrambling[1] de los bits del campo de información.- A fin de incrementar la seguridad y robustecer el proceso de delimitación de las celdas, los bits del campo de información se colocan de manera pseudoaleatoria.

[1] Scrambling es una modificación a las técnicas de códigos de línea existentes. Consiste en sustituir largas cadenas de ceros y unos por una secuencia preestablecida. La finalidad es reducir la posibilidad de pérdida de la señal de reloj dentro de la misma información transmitida.

Desacoplamiento de la velocidad de transmisión de las celdas. **Generación y verificación de la secuencia HEC del encabezado.** **Delimitación de celdas.** **Adaptación de las tramas al sistema de transmisión.** **Generación y recuperación de las tramas transmitidas.** **Scrambling de bits en el campo de información.**	**TC**	**CAPA FISICA**
Sincronización de bits. **Medio físico.**	**PM**	

Figura 5.2 Funciones de la capa física.

5.4.2 Funciones de la capa ATM

La capa ATM es independiente del medio físico empleado para transportar las celdas. En esta capa se han identificado cuatro funciones principales:

1.- Multiplexaje y demultiplexaje de celdas.- Las celdas de diferentes conexiones, identificadas por su valores VPI/VCI, se multiplexan y demultiplexan en una sola cadena de celdas.

2.- Traducción del identificador de la ruta virtual.- . Esta traducción se puede efectuar en el VCI, en el VPI o en ambos. Es necesario llevarla a cabo en los nodos intermedios de las redes ATM, cuando se conmuta una celda de un enlace físico a otro.

3.- Generación y extracción del encabezado de la celda. Una vez que se ha recibido el campo de información de la celda por parte de la capa ATM de adaptación (AAL) en dirección de la transmisión, se inserta la información del encabezado con excepción del valor HEC. En la dirección opuesta, del lado del receptor, se ejecuta la función inversa, se remueve el encabezado pasando únicamente a la capa AAL el campo de información.

4.- Control de flujo genérico.- Con esta función se genera la información para el control de flujo que se inserta en los encabezados de las celdas que fluyen en la interfase de usuario UNI.

Multiplexaje y demultiplexaje de celdas. **Traducción del identificador de la ruta virtual.** **Generación y extracción del encabezado de la celda.** **Control genérico de flujo.**	**CAPA ATM**

Figura 5.3 Principales funciones de la capa ATM.

5.4.3 Funciones de la capa de adaptación ATM (AAL)

La capa ATM se encarga únicamente de las funciones del encabezado de la celda independientemente de la estructura de la unidad de información y de la tasa de transmisión de la aplicación. Esta simplicidad y flexibilidad se logra dejando fuera varias funciones necesarias para proveer los requerimientos de calidad de servicio de las aplicaciones. Por lo anterior, la capa de adaptación ATM (AAL) es la responsable de proveer estas funcionalidades para cada clase de servicio con el fin de alcanzar la calidad de servicio requerida.

La capa AAL soporta las funciones de las capas superiores de usuario y de los planos de control, además soporta la conexión entre interfases ATM e interfases diferentes a ellas. La información que se recibe en la capa AAL proveniente de las capas superiores, se segmenta y

se inserta en celdas ATM. Por otra parte, las celdas provenientes de la capa ATM se reensamblan para recuperar la información.

Las funciones de la capa AAL se clasifican en dos categorías: funciones de adaptación de servicios orientados a cadenas continuas de bits (CBR) y funciones de adaptación de servicios de datos en ráfagas (VBR). Los servicios CBR son aquellos que requieren flujos ininterrumpidos de información digital, como por ejemplo voz a 64 Kbps.

Las funciones CBR de la capa AAL son entre otras:

- Ensamble y desensamble de celdas.
- Compensación de retardo variable.
- Mapeo de señales de control en la cadena de celdas ATM.
- Recuperación de sincronía.
- Control de celdas perdidas.

Los servicios de datos en ráfagas están diseñados para aprovechar los ahorros de ancho de banda al considerar los periodos vacíos entre la transmisión de información. Las funciones llevadas a cabo por la capa AAL en este tipo de servicios incluyen:

- Segmentación en celdas de las unidades de información.
- Manejo de celdas parcialmente llenas.
- Reensamble de celdas para recuperar las unidades de información.
- Control en casos de pérdidas de celdas.

La capa AAL se subdivide en dos subcapas: Subcapa de Segmentación y Reensamble (SAR) y la Subcapa de Convergencia (CS).

La función principal de la subcapa SAR es segmentar la información de las capas superiores en celdas ATM y la operación inversa, reensamblar el contenido de las celdas de una conexión virtual en unidades de datos para ser entregadas a las capas superiores.

La subcapa CS se encarga de diferentes funciones como identificación de mensajes y recuperación de sincronía entre otras. Para algunos tipos de AAL, que soportan el transporte de datos en ATM, la subcapa CS se subdivide en la Subcapa de Convergencia de Parte Común (CPCS) y en la Subcapa de Convergencia de Servicio Específico (SSCS), que a su vez se

subdivide en el Protocolo Orientado a Conexión del Servicio Específico (SSCOP) y en la Función de Convergencia del Servicio Específico (SSCF).[20]

En casos en que las aplicaciones de usuario se puedan proporcionar únicamente con los servicios ATM, el protocolo AAL puede estar vacío.

Hasta ahora la ITU ha definido cuatro tipos de AAL, una para cada clase de servicio. El ATM Forum definió una AAL diferente para transferencia de datos a alta velocidad. A esta capa se le llama AAL 5 y fue estandarizado recientemente por la ITU.[1]

Convergencia	**SC**	**AAL**
Segmentación y reensamble	**SAR**	

Figura 5.4 Funciones de la capa AAL.

5.5 La capa física

La ITU especifica tres tipos de adaptaciones a tramas de transmisión: basada en SDH, PDH y celdas. Por otra parte, el ATM Forum aumentó otra opción más, la basada en FDDI.[9]

5.5.1 Intefase basada en Jerarquía Digital Síncrona (SDH).

Características del medio físico.- Las recomendaciones ITU G.707-709 especifican la SDH. La SDH es un método de transmisión diseñado para ser usado en los recientes enlaces de fibras ópticas. Es un sistema novedoso, con procedimientos de tramado y transmisión más inteligentes lo que le da muchas ventajas frente a los viejos sistemas PDH.

La trama está estructurada en bytes y consiste de 9 renglones y 272 columnas. La frecuencia de repetición de tramas es de 8 kHz, con lo que se obtiene una velocidad de transmisión de 155.520 Mbps. Se puede utilizar una interfase eléctrica o una óptica, dependiendo de los requerimientos en términos de distancia, confiabilidad y costo. La interfase eléctrica se define en la recomendación G.703, con un rango de cobertura de 100 a 200 metros, dependiendo de la atenuación. La recomendación G.652 define la interfase óptica, esta opción tiene una cobertura de 800 a 2,000 metros. Existe además, una interfase óptica con fibras monomodo que trabajan a 622.08 Mbps de acuerdo a la recomendación G.708 de la ITU.

Características de convergencia de transmisión.- La interfase provee del transporte de celdas con información de usuario, de operación y mantenimiento así como de señalización a 149.760 Mbps en un sistema de transmisión de 155.520 Mbps y a 599.040 Mbps en sistemas de transmisión de 622.080 Mbps.

En esta opción las celdas ATM se transportan en tramas SDH. Entre las funciones más importantes de la subcapa de convergencia de transmisión para esta interfase se encuentran la generación y recuperación de tramas, scrambling y descrambling para la recuperación de información de sincronización, multiplexión, operación y mantenimiento, identificación de señalización de enrutamientos, recuperación de reloj de 125 μs, justificación de frecuencias de las tramas a la frecuencia de transmisión por procesamiento de apuntadores, delimitación de celdas por medio del HEC, generación y verificación de HEC así como scrambling y descrambling de celdas.

La funciones de operación y mantenimiento están implementadas de acuerdo a las especificaciones generales de SDH (G:708 y G.709). Las funciones OAM hacen posible la alineación de tramas así como el monitoreo y reporte de errores. El desempeño de la transmisión se monitorea y reporta por secciones y por rutas. Las funciones de control de fallas en la red permiten su detección, aislamiento y corrección.

El ATM Forum también especifica sistemas de transmisión estándar para ser utilizados en interfases de redes ATM públicas y privadas. La interfase estándar OC-3 de la red digital síncrona (SONET), transmite a razón de 155 Mbps a través de fibra óptica monomodo aunque es posible utilizarlo con otros tipos de cableado. Esta especificación provee por medio de una estructura de trama, la paquetización necesaria para el transporte de celdas ATM. De acuerdo a las recomendaciones de la ITU, este tipo de interfase es compatible con SDH .

Por otra parte, la interfase DS-3 se utiliza en redes públicas y funciona a 45 Mbps. Está asociada a servicios fraccionales T3 provistos por las principales compañías de telecomunicaciones de los Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y Japón entre otros. Este tipo de conexiones se utilizan para enlazar redes distantes entre sí.

El estándar TAXI (Transparent Asynchronous Transmitter/Receiver Interface) de la compañía estadounidense AMD, es una interfase que transmite a 100 Mbps a través de fibra óptica multimodo y utiliza el mismo protocolo de codificación (4B/5B) que la capa física de FDDI. Fue definido principalmente para facilitar las primeras instalaciones a bajo costo de redes ATM privadas.[82]

Recientemente el ATM Forum estandarizó la transmisión de celdas ATM a 25 Mbps a través de par torcido sin blindaje categoría 3. Las principales razones que motivaron el desarrollo de esta especificación fueron la gran cantidad de redes que cuentan actualmente con este tipo de cableado y lo costoso que resulta sustituir los cables metálicos por fibra óptica.[131]

5.5.2 Interfase basada en celdas

Características del medio físico.- De acuerdo a las recomendaciones de la ITU, las características del medio físico para las interfases basadas en celdas son idénticas a las de las interfases basadas en SDH. El ATM Forum especifica además para este tipo de interfases, la basada en fibra óptica multimodo a 100 Mbps para UNI privadas.[32]

Características de convergencia de transmisión.- En esta opción las celdas se transportan continuamente, sin un entramado regular dependiente de un periodo de tiempo. Dado que no se dispone de una señal externa de reloj en el receptor, ésta puede obtenerse de la señal recibida del nodo local, o del reloj del equipo del usuario.

Dentro de las funciones de la TCS para esta interfase se encuentran la delimitación de celdas, generación y verificación del HEC, adaptación de la tasa de transmisión de celdas entre la capa ATM y la capa física así como funciones de operación y mantenimiento. Al igual que en el caso de las interfases basadas en SDH, la tasa de transmisión disponible para celdas con información de usuario, señalización y operación y mantenimiento es de 149.760 Mbps en un sistema de transmisión de 155.520 Mbps y 599.040 Mbps para un sistema de 622.080 Mbps.

Con el fin de no exceder la capacidad máxima permitida para información de usuario en una interfase con un régimen de transmisión de bits nominalmente más alto, la capa física transporta celdas especiales llamadas "celdas de la capa física" (PLC), las cuales no se intercambian con la capa ATM. Las PLC se generan e interpretan únicamente a nivel de la capa física y es posible identificarlas por su encabezado predefinido. El espaciamiento máximo entre PLC sucesivas es de veintiséis celdas ATM. Pueden estar vacías o contener información de operación y mantenimiento de la capa física (PL-OAM). La función de las PLC vacías es realizar funciones de adaptación a la tasa de transmisión de celdas.[9]

En la tabla 5.1 se indican los valores preasignados del encabezado para los tipos de celdas PL.

Tipo de celda	Octeto 1	Octeto 2	Octeto 3
Celdas vacías	00000000	00000000	00000001
OAM capa física	00000000	00000000	00001001
Reservadas para uso de la capa física	FFFF0000	00000000	0000FFF1

F: F bit disponible para uso de la Capa Física.

Tabla 5.1 Valores preasignados para encabezados de celdas en la capa física.

La interfase basada en celdas especificada por el ATM Forum, únicamente en la UNI privada, porta adicionalmente el envío de una señal de reloj de 125 μs a través de un enlace de transmisión por medio de un símbolo especial.[32]

5.5.3 Interfase basada en la Jerarquía Digital Plesiócrona

Características del Medio Físico.- La recomendación G.703 de la ITU define la transmisión de celdas ATM en tramas PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy). Esta técnica emplea la infraestructura de transmisión existente en la red sin necesidad de instalar nuevos equipos de transmisión SDH.

Características de convergencia de transmisión.- Las funciones de mantenimiento, monitoreo de desempeño y reporte de fallas se basan en el uso de octetos especiales que se agregan a la trama. El remanente del campo de información de usuario se llena con las celdas ATM alineadas por octetos sobre la estructura del área de información de la trama PDH. Por otra parte, la delimitación de las celdas se lleva a cabo con ayuda del HEC y los bits de los octetos de información reciben el proceso de scrambling a fin de evitar una sincronización errónea de las celdas.

El ATM Forum especifica el uso de DS-3 en las UNI públicas. Esta interfase asíncrona trabaja a 45 Mbps. Las celdas ATM se transportan mediante el uso del Protocolo de Convergencia de la Capa Física (PLCP), que consiste de una trama de 125 μseg. e incluye doce celdas ATM, cada una precedida por 4 bytes de overhead. En este estándar no se utiliza el procedimiento de scrambling ya que las celdas tienen una localización predeterminada dentro del PLCP.

5.5.4 Interfase basada en FDDI

Características del medio físico.- El ATM Forum especifica la interfase de 100 Mbps en fibra óptica multimodo para UNI privadas que está basada en la capa física de FDDI. La transmisión óptica y el ancho de banda en la implementación de este protocolo deben ajustarse a la especificación ISO DIS 9314-3.

Características de convergencia de transmisión.- La delimitación de las celdas ATM se lleva a cabo con ayuda de códigos de línea especiales y no por medio del HEC. El HEC se utiliza para detección de errores, pero no para su corrección ya que el código de línea utilizado ocasiona la multiplicación de los errores en los bits.

Las UNI privadas no requieren de la complejidad de operación y mantenimiento encontrada en las interfases públicas. Estas funciones, que se efectúan sobre los enlaces locales de fibra óptica, se proveen por medio de la especificación para la interfase provisional de administración local (ILMI).[48]

En las primeras fases de estandarización de la B-ISDN se consideraba que el medio de transmisión a utilizar sería únicamente la fibra óptica, principalmente por las ventajas que ofrece sobre los cableados metálicos. Las tasas de transmisión estaban basadas en SDH para Europa y en SONET para los Estados Unidos de Norteamérica, pero debido a la insuficiencia de este tipo de infraestructura y a la popularidad del cableado metálico en las instalaciones existentes, se estandarizó el uso del mismo como medio de transmisión de ATM, con velocidades de envío de 25 y 45 Mbps.[91]

5.6 Capa ATM

En la recomendación I.150 de la ITU se incluyen la especificación y características funcionales de la capa ATM. Esta capa es común a todos los servicios y provee de las capacidades de envío transparente de celdas.

5.6.1 Estructura de las celdas

La celda es el elemento básico de la capa ATM y su codificación se describe en detalle en la recomendación I.361 de la ITU. La estructura de celda que finalmente seleccionó este organismo consiste de 48 octetos del campo de información y 5 octetos del encabezado. De acuerdo a la recomendación I.361, se establecieron las siguientes convenciones:

- Los octetos se envían en orden ascendente, iniciando con el octeto 1. De acuerdo a lo anterior, se enviará el encabezado de la celda seguido por el campo de información.
- Los bits dentro de un octeto se envían en orden descendente iniciando con el octavo bit.
- Para todos los campos, el primer bit que se enviará será el bit más significativo.

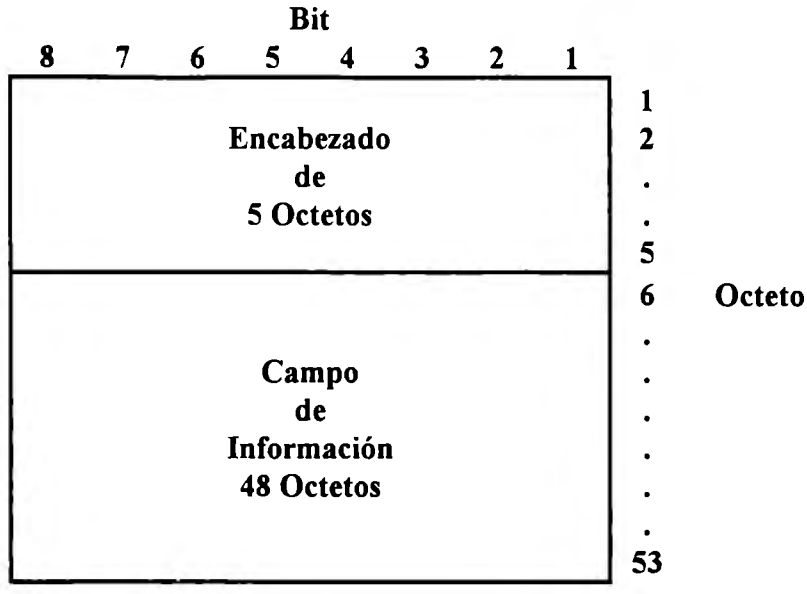


Figura 5.5 Estructura de la celda ATM.

La estructura del encabezado de la Interfase Usuario-Red (UNI) difiere del encabezado de la Interfase Red-Red (NNI) en el uso de los bits 5 a 8 del primer octeto. En la figura 5.6 se describe el encabezado de la UNI. El primer campo contiene 4 bits para el control de flujo genérico (GCF). El siguiente campo es el de enrutamiento, que se encuentra subdividido en un campo con la identificación del canal virtual (VCI) que consiste de 16 bits y un campo de 8 bits con la identificación de la ruta virtual (VPI). El campo de identificación del tipo de información (PTI) está compuesto por 3 bits. El bit de prioridad de pérdida de celda (CLP) indica si ésta tiene una alta prioridad (CLP=0) o puede ser descartada en la red (CLP=1). Finalmente el campo de control de error del encabezado (HEC) está compuesto por 8 bits.

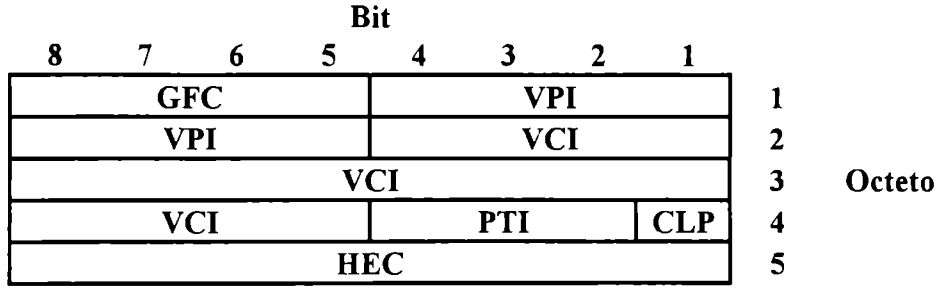


Figura 5.6 Estructura del encabezado ATM para la UNI.

En la Interfase Red-Red (NNI), el formato del encabezado es similar al de la UNI, excepto por el campo GFC, como se indica en la figura 5.7. Para esta interfase el campo VPI consiste de 12 bits y desaparece el campo GCF, cuya función en la UNI es coadyuvar en el control del tráfico en las conexiones ATM. Esta función alivia las condiciones de saturación que pudieran ocurrir en la red del usuario.

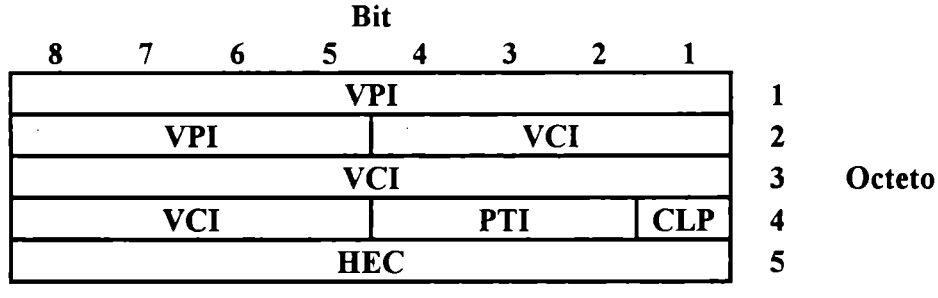


Figura 5.7 Estructura del encabezado ATM para la NNI.

Las principales funciones de los campos que integran el encabezado de las celdas ATM son las siguientes:

- Control de flujo genérico (GFC).- Este campo tiene únicamente significado local y se puede utilizar para proveer funciones locales estandarizadas del lado del usuario, como control de flujo por ejemplo. El valor codificado para el campo GFC no es fijo y puede ser modificado en los nodos ATM.

- Identificadores de ruta y canal virtuales (VPI/VCI).- Estos campos identifican respectivamente la ruta y el canal virtual que la información debe seguir. Su función básica es identificar el enrutamiento de las celdas. En las celdas vacías los valores del VPI/VCI se fijan a ceros.

- Tipo de información (PTI).- En este campo se define el tipo de datos que contiene la celda en el campo de información, misma que puede ser de usuario o asociada a la operación y mantenimiento de la red. También se utiliza para indicar a la red estados de congestión o para administración de los recursos de la misma.

- Prioridad de pérdida de la celda (CLP).- El valor de este campo de 1 bit se fija en la capa AAL e indica la importancia relativa de la celda; es utilizado como guía para la red en caso de congestiones de tráfico. Un valor de cero indica que una celda tiene prioridad relativamente alta y que la red no debe descartarla, a menos que no exista otra alternativa. Un valor de uno indica que la celda puede descartarse en caso de congestión. El valor del bit CLP puede ser asignado por el usuario o por el proveedor del servicio. La función de este campo es de gran utilidad ya que permite que ciertos tipos de tráfico tengan prioridad en redes congestionadas.

- Control de error del encabezado (HEC).- Este campo es utilizado por la capa física para detección y corrección de errores en los bits del encabezado de la celda. También se puede utilizar para delimitar las mismas. La técnica empleada es el CRC con el polinomio generador $X^8 + X^2 + X + 1$. Debido a que el CRC se calcula sobre 32 bits, el HEC contiene suficiente redundancia para permitir la corrección de un bit en el encabezado; más de un bit de error causará la pérdida de la celda.

Los diferentes campos definidos dentro de los encabezados de las celdas, para los dos tipos de interfase, tienen significado únicamente para las celdas ATM, pero ninguno para las pertenecientes a la capa física.

Con el fin de diferenciar las celdas que utiliza la capa ATM de las usadas por la capa física y para identificar las celdas sin asignación, se fijan valores predeterminados a sus encabezados. Estos valores se muestran en la figura 5.8.

	Octeto 1	**Octeto 2**	**Octeto 3**	**Octeto 4**
Reservado para uso de la Capa Física	**FFFF0000**	**00000000**	**00000000**	**0000FFF1**
Celdas sin Asignación	**AAAA0000**	**00000000**	**00000000**	**0000AAA0**

A Indica el bit disponible para uso de la Capa ATM.

F Indica el bit disponible para uso de la Capa Física.

Figura 5.8 Valores preasignados para encabezados de celdas.

Las celdas de la capa física y las celdas sin asignación se caracterizan por patrones de ceros en los bits 5 al 28 del encabezado. Los valores restantes pueden ser usados por las celdas con asignación.

Por medio del bit menos significativo del cuarto octeto del encabezado se diferencian las celdas sin asignación de las pertenecientes a la capa física. Este bit no se emplea para indicar la prioridad de pérdida de la celda como en el caso de las celdas con asignación.

5.6.2 Operación de la capa ATM

La operación de la capa ATM varía dependiendo si se trata de un punto terminal o de un nodo intermedio. En el primer caso la capa ATM intercambia cadenas de celdas con la capa física, insertando celdas vacías si no tiene información que transmitir y generando celdas con la información proveniente de la capa AAL. Los campos de información de 48 bytes transmitidos en celdas pasan de la capa AAL, junto con varios parámetros como los valores de los campos de tipo de información y CLP, a la capa ATM.

A esta información se le conoce como Unidades de Datos de Servicio (SDU), que son las unidades de información que pasan de una capa superior a una inferior. Por otra parte, una Unidad de Datos de Protocolo (PDU) es el elemento de información que pasa de una capa a su similar en el otro extremo (Capa Peer).

Una vez que se recibe el SDU de la capa AAL, la capa ATM lo coloca en una celda con los valores VPI/VCI apropiados y la pasa a la capa física para su posterior transmisión. La capa ATM también recibe celdas entrantes , con valores VPI/VCI válidos, y pasa los SDU a la capa AAL, junto con una indicación que informa si se ha experimentado o no congestión de acuerdo a lo especificado por el campo PTI.

Con respecto al orden en que se deben atender a los circuitos virtuales múltiples no existen restricciones. Un nodo que soporte múltiples circuitos concurrentes transmitirá a la vez una celda de cada circuito, atendiendo primero a las colas con alta prioridad. La única restricción es que todos los datos deben de ser transmitidos en orden, ya que no se permite el desordenamiento de celdas.

Otra de las funciones importantes de la capa ATM en los nodos terminales es vigilar la calidad de servicio (QOS) para cada uno de los circuitos. Esto se logra por medio de mecanismos de supervisión de tráfico para cuidar que no se excedan los parámetros de QOS comprometidos.

La operación de la capa ATM en los nodos intermedios es mucho más simple. Una vez que se recibe una celda ATM en un puerto, la capa ATM determinará, con base en los valores VPI/VCI, el puerto de salida apropiado y sus nuevos valores VPI/VCI.

También establece el valor del campo PTI en casos en los que se experimente congestión. Se encarga asimismo de asegurarse que las celdas de un mismo circuito virtual no se desordenen y que se cumplan con los requerimientos del sistema.

5.7 Capa de adaptación ATM (AAL)

Este grupo de protocolos estándar, que convierten el tráfico de usuario proveniente de las capas superiores a una forma y tamaño adecuado para ser colocados en los campos de información de las celdas ATM y que realiza la función inversa en el nodo destino, se clasifica en diferentes tipos dependiendo de las características de la información de los diversos servicios que manejan.

5.7.1 Funciones y tipos de capas de adaptación

Los protocolos de la capa AAL soportan funciones de la capa superior de los planos de usuario y de control así como conexiones entre interfases ATM e interfases diferentes a ellas. Generan además, el tráfico que se transporta en celdas ATM. Esto se logra estableciendo las conexiones adecuadas, paquetizando el tráfico proveniente de las capas superiores en campos de información de 48 bytes que será a su vez enviado a la capa ATM para su transmisión. En la operación inversa, la capa AAL recibe la información proveniente de la capa ATM y la adapta a la forma requerida por la capa superior.

La Capa AAL puede mejorar el servicio proporcionado por la capa ATM para los requerimientos de servicios de usuario o funciones de control y mantenimiento. El rol de la capa AAL es proveer para cada clase de servicio las funcionalidades requeridas para lograr la calidad deseada.

Los servicios a ser transportados a través de la capa ATM se clasifican en cuatro clases, cada una de las cuales tiene sus requerimientos específicos para la capa AAL. Esta categorización se obtuvo al clasificarlos de acuerdo a los siguientes parámetros básicos:

Relación de tiempo entre fuente y destino, tasa de transmisión (variable o constante) y modo de conexión.

La siguiente clasificación de servicios fue definida por la ITU:

- Clase A.- Existe una relación de tiempo entre la fuente y el destino. La tasa de transmisión es constante y el servicio está orientado a conexión. Dentro de esta categoría se encuentran los servicios llamados de tiempo real, como voz a 64 Kbps y video con tasa de transmisión constante.

- Clase B.- Existe una relación de tiempo entre fuente y destino y el servicio está orientado a conexión. Sin embargo, la tasa de transmisión es variable. Como ejemplos se tiene el video con tasa de transmisión variable y servicios de audio.

- Clase C.- No existe relación de tiempo entre fuente y destino, la tasa de transmisión es variable. El servicio está orientado a conexión. Dentro de esta clase se encuentra la transferencia de datos orientada a conexión y la señalización.

- Clase D.- Esta clase corresponde a servicios sin conexión con tasas de transmisión variables. Un ejemplo típico es la transferencia de datos sin conexión como en el caso de los servicios conmutados de datos multimegabit (SMDS).

La capa AAL se divide en dos subcapas: Subcapa de Segmentación y Reensamble (SAR) y la Subcapa de Convergencia (CS). La función principal de la SAR es segmentar los PDUs en celdas ATM y reensamblar las celdas en PDUs. La CS es una especificación de interfase, define los servicios que la AAL provee a las capas superiores. La SAR y la CS pueden estar vacías en algunas aplicaciones.

La ITU ha recomendado cuatro tipos de protocolos AAL, estos son: AAL 1, AAL 2, AAL 3/4, y AAL 5, mismos que se describen a continuación.

5.7.2 AAL Tipo 1

La AAL tipo 1 se utiliza para servicios orientados a cadenas de bits continuas (CBR) que requieren información, una vez que se ha establecido la conexión, para ser transferidos entre la

fuente y el destino a una tasa de transmisión constante. Dentro de estos servicios se encuentra el audio de alta calidad, video y telefonía (servicios clase A).

Los servicios que provee la capa AAL 1 a los usuarios de la AAL son:

- Transferencia de unidades de datos de servicio (PDU) con una tasa de transmisión constante de la fuente y su entrega a la misma tasa de transmisión.

- Transferencia de información de sincronización entre la fuente y el destino.

- Transferencia de información de estructura de datos.

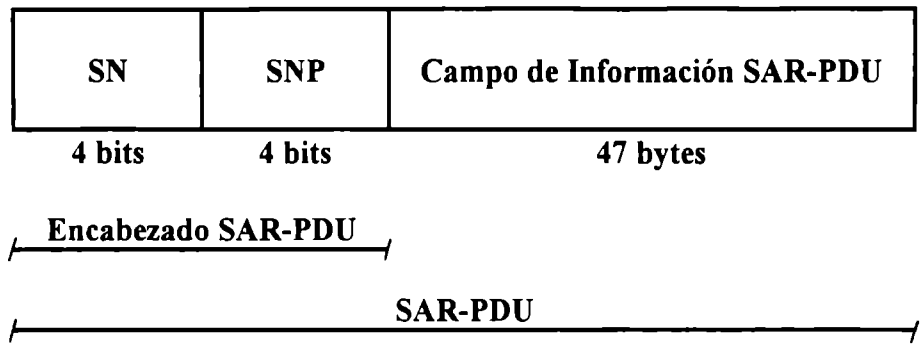
- Indicación, cuando sea necesario, de información perdida o errónea no recuperada por la capa AAL.

Asimismo el plano de usuario puede intercambiar información con el plano de control y el plano de administración. Al plano de administración se pueden transferir indicaciones de error para notificar de errores en la transmisión de información de usuario, pérdida de celdas, pérdida de sincronía y saturación de memoria entre otros.

5.7.2.1 Funciones de la subcapa SAR

La capa superior proporciona los datos a la capa AAL 1 a una tasa de transmisión constante, la cual se debe mantener hasta la entrega en el nodo destino. El protocolo de la capa AAL 1 coloca los datos que recibe en Unidades de Datos del Protocolo de Segmentación y Reensamble de la capa AAL tipo 1 (SAR-PDU), como se muestra en la figura 5.9. Estos SAR-PDU de 48 bytes se pasan posteriormente a la capa ATM, donde se forman los campos de información de las celdas ATM.

El SAR-PDU que consiste de 48 octetos cuenta con el campo número de secuencia (SN) que se utiliza para detectar la pérdida o inserción errónea de celdas. La protección del número de secuencia (SNP) provee de capacidades de detección y corrección de errores. SNP es un CRC de 4 bits, calculado únicamente sobre el SN, no cubre al campo de información ya que los errores en los bits de datos CBR no son de mucha importancia.[1]



SN Número de Secuencia

SNP Protección de Número de Secuencia.

Figura 5.9 Estructura del SAR-PDU para la capa AAL tipo 1.

En el SAR-PDU se pueden transportar hasta 47 bytes de información pero no es necesario usar la capacidad total. La cantidad de información transportada depende de la tolerancia al retardo que a su vez está supeditada al número de muestras que se pueden almacenar en la fuente y transportar en una celda.

5.7.2.2 Funciones de la subcapa de convergencia

Las funciones llevadas a cabo por la subcapa de convergencia dependen del tipo de servicio. Dentro de las más importantes se tienen las siguientes:

- Manejo de la variación en el retardo de las celdas.

- Recuperación de sincronía de la fuente en el receptor.

- Recuperación de la estructura de datos de la fuente en el receptor.

- Monitoreo de pérdida e inserción incorrecta de celdas y posibles acciones correctivas.

- Monitoreo de la Información de Control del Protocolo AAL (PCI) para errores en bits y posibles acciones correctivas.

- Monitoreo del campo de información de usuario para errores en bits y posibles acciones correctivas.

- Para algunas aplicaciones de audio, corrección de errores con el fin de asegurar la alta calidad.

5.7.3 AAL tipo 2

El tipo 2 de la capa AAL se utiliza para servicios con tasas variables de transmisión de bits (VBR), los cuales requieren de una estrecha relación de sincronización entre la fuente y el destino. Dentro de estos servicios se encuentran el audio y video con tasas de transmisión variables (servicios clase B).

La AAL tipo 2 provee de servicios a la capa superior adyacente, dentro de los cuales se pueden mencionar:

- Intercambio de SDU's, provenientes de una fuente con tasa de transmisión variable, entre la capa AAL y la capa superior.

- Transferencia de información de sincronización entre la fuente y el destino.

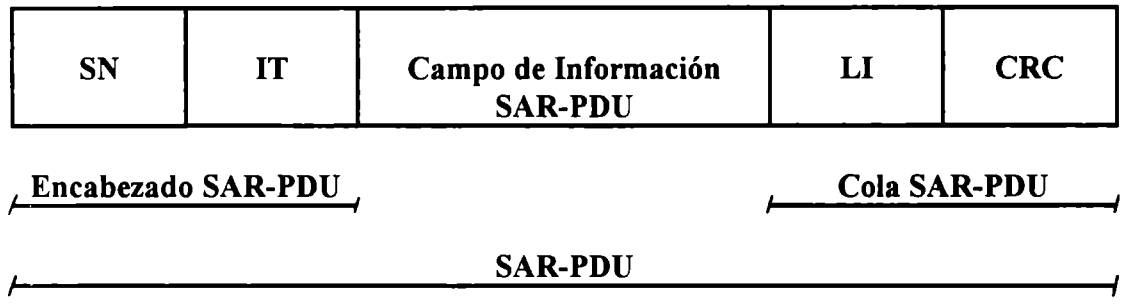
- Informar a la capa superior de los errores, como pérdida e inserción incorrecta de celdas, que no pueden ser corregidos por la capa AAL.

La capa AAL tipo 2 interactúa con el plano de administración y con el plano de control. La información que se intercambia con estos planos es idéntica a la que se maneja en la capa AAL tipo 1.

5.7.3.1 Funciones de la subcapa SAR

La capa AAL tipo 2 paquetiza los datos provenientes de la capa superior en SAR-PDU, los que a su vez se transfieren a la capa ATM para su transmisión. Dado que la fuente transmite a una tasa de transmisión variable, es posible que las celdas no estén completamente llenas y que el nivel de llenado varíe de celda a celda.

La ITU en su recomendación I.363 presentó la estructura del SAR-PDU que se muestra en la figura 5.10.



SN **Número de secuencia**

IT **Tipo de información**

LI **Indicador de longitud**

CRC **Código de redundancia cíclica**

Figura 5.10 Estructura del SAR-PDU para la capa AAL tipo 2.

El SAR-PDU compuesto por 48 octetos contiene el campo de número de secuencia (SN) que permite la recuperación celdas perdidas o mal enrutadas. Por otra parte, el campo tipo de información (IT) puede tomar uno de los siguientes valores: inicio de mensaje (BOM) que indica que el SAR-PDU contiene la primera celda de un mensaje, continuación de mensaje (COM) utilizado para PDU's que contienen datos adicionales y fin de mensaje (EOM) que indica la última celda del envío. Estos campos se fijan en la fuente en caso de que los datos transmitidos a la capa AAL deban ser segmentados en varias celdas y se usan para posteriormente reensamblarlas en el destino antes de que la información sea transferida a la capa superior.

En el campo de información se transportan los datos a ser enviados, no es necesario que el campo esté totalmente lleno. Dado que la unidad de información es de longitud variable, se hace necesario el campo de Indicación de Longitud (LI) que indica el número de bytes útiles en celdas parcialmente llenas. Finalmente el campo CRC permite a la subcapa de segmentación y reensamble corregir los errores en bits del SAR-PDU.

A diferencia del tráfico tipo A, es importante que los datos tipo B no sean distorsionados, puesto que frecuentemente estos datos se generan a través de algoritmos de compresión en los cuales un sólo bit erróneo se multiplica varias veces.

5.7.3.2 Funciones de la Subcapa de Convergencia

En la Subcapa de Convergencia se ejecutan las siguientes funciones:

- Recuperación de sincronía por medio de inserción y extracción de información de temporización.

- Manejo de pérdida o inserción incorrecta de celdas.

- Corrección de errores para servicios de audio y video.

5.7.4 AAL tipo 3/4

La ITU recomienda el uso de la capa AAL tipo 3/4 para la transferencia de datos que no son sensibles al efecto de retardo. Se puede utilizar para servicios ya sea orientados a conexión o no (servicios clase C y D).

El trafico clase C está orientado a conexión, con tasa de transmisión variable y sin relación de sincronización entre la fuente y el destino. Dentro de los servicios clase C se tiene X.25, Frame Relay y TCP/IP entre otros. Para proveerlos se han definido dos tipos de capas AAL, la tipo 3/4 y la tipo 5. Los formatos de los PDU's se utilizan también para proveer servicios clase D.

La capa AAL tipo 3/4 no lleva a cabo todas las funciones requeridas por los servicios no orientados a conexión ya que algunas, como el enrutamiento y direccionamiento, las ejecuta la capa de red.

5.7.4.1 Funciones de la subcapa SAR

Las funciones que provee la subcapa de segmentación y reensamble son las siguientes:

- Segmentación y reensamble de CS-PDU de longitud variable.

- Detección de errores en bits de los SAR-PDU.

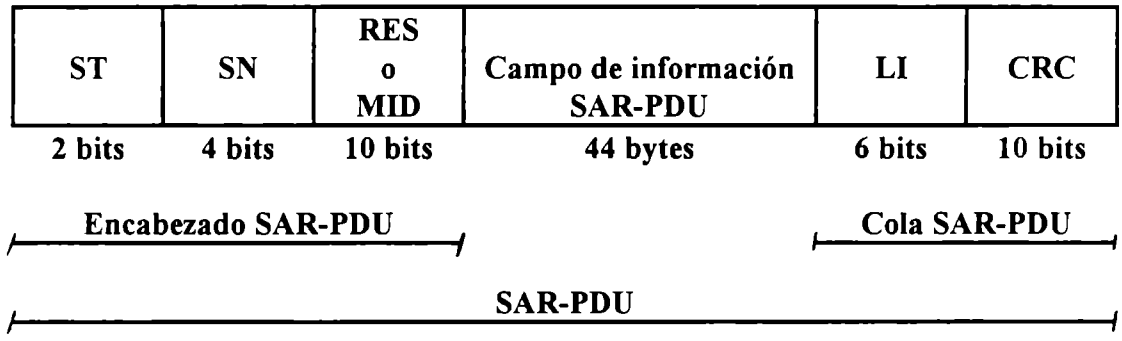
- Detección de pérdida o inserción incorrecta de SAR-PDU.

- Multiplexaje/demultiplexaje de CS-PDU de múltiples conexiones AAL en una sola conexión de la capa ATM.

En la figura 5.11 se indica la estructura del SAR-PDU para la capa AAL tipo 3/4.

El campo tipo de segmento (ST) puede tomar uno de cuatro valores. Se utiliza para indicar si un SAR-PDU en particular transporta la primera pieza de un CS-PDU (BOM), una pieza intermedia (COM) o una pieza final (EOM) o si el CS-PDU está contenido completamente en un SAR-PDU (SSM).

El campo de número de secuencia (SN) se incrementa con cada SAR-PDU sucesivo para un CS-PDU dado y se utiliza para detectar la pérdida o inserción errónea de los SAR-PDU. Por otra parte, el indicador de multiplexión (MID) se usa para diferenciar entre múltiples CS-PDU que pudieran estar en tránsito simultáneamente en la misma conexión ATM. Se debe emplear el mismo valor de MID en todos los SAR-PDU que pertenecen al mismo CS-PDU.



ST **Tipo de Segmento**
SN **Número de Secuencia**
RES **Reservado (AAL tipo 3)**
MID **Identificador de Multiplexión (AAL tipo 4)**
LI **Indicador de Longitud**
CRC **Código de Redundancia Cíclica**

Figura 5.11 Formato SAR-PDU para la capa AAL tipo 3/4.

El campo de información de un SAR-PDU para la capa AAL tipo 3/4 tiene capacidad únicamente para 44 bytes de datos y contiene las piezas segmentadas de un CS-PDU. Por otra parte, el indicador de longitud (LI) indica cuántos de los 44 bytes del campo de información contienen datos de usuario. Un SAR-PDU con tipo de segmento EOM o SSM puede contener

menos de 44 bytes de datos. Finalmente, el código CRC cubre completamente al SAR-PDU y su función es detectar errores en los bits.

5.7.4.2 Funciones de la subcapa de convergencia

La subcapa de convergencia para la capa AAL tipo 3/4 tiene las siguientes funciones:

- Delimitación y transparencia de los PDU de capas superiores.
- Mapeo entre los puntos de acceso a servicio (SAP) de la capa AAL y las conexiones de la capa ATM.
- Detección y manejo de CS-PDU distorsionados.
- Segmentación y reensamble opcional de un AAL-SDU en dos o más CS-PDU para su transporte eficiente a través de la red ATM.
- Indicación explícita de la información transportada dentro del CS-PDU.
- Indicación opcional a la entidad receptora de los requerimientos máximos de almacenamiento para recibir los CS-PDU.

5.7.5 AAL tipo 5

Debido a la complejidad y a falta de especificaciones completas para la capa AAL tipo 3/4, el ATM Forum especificó un nuevo tipo de AAL, conocido como AAL tipo 5 y llamado originalmente "AAL Simple y Eficiente" (SEAL). Este tipo de capa ofrece un servicio con menos overhead y mejor detección de errores que su equivalente AAL tipo 3/4.[1]

5.7.5.1 Funciones de la subcapa SAR

La subcapa SAR acepta SAR-SDU de longitud variable, múltiplos de 48 octetos, y genera SAR-PDU que contienen 48 bytes de datos SAR y que no incluyen overhead de encabezados ni colas.

Dado que los CS-PDU tienen un tamaño fijo, no existe necesidad de un campo de indicación de longitud. Sin embargo, la subcapa SAR requiere detectar el inicio y el fin de las unidades de información. Esto se logra por medio de un subcampo en el campo PTI del encabezado de la celda ATM. La capa AAL tipo 5 asigna un valor de 1 para la última celda del CS-PDU transferido y un valor de cero para todas las demás celdas. Lo anterior, aunado a los mecanismos de tiempo fuera[2] para la recepción, verificaciones en los campos de longitud recibidos y el uso de códigos CRC, permiten a la capa AAL detectar la pérdida, inserción errónea o desordenamiento de celdas.

5.7.5.2 Funciones de la subcapa de convergencia

La capa AAL tipo 5 también define su propio CS-PDU como se muestra en la figura 5.12. Este CS-PDU pasa hacia y desde la función SAR.

El campo de información de la capa AAL tipo 5 puede variar de 0 a 65,535 bytes y su campo de alineación de bytes PAD se usa para asegurar que el CS-PDU es un múltiplo de 48 bytes (requerido ya que no existe indicación de longitud en el SAR-PDU). El rango de variación del PAD comprende de 0 a 47 bytes.

El campo de control está reservado para soportar funciones AAL futuras, actualmente se codifica en ceros. El código de redundancia cíclica es un campo de 4 bytes y contiene un CRC de 32 bits calculado sobre el CS-PDU que se usa para detectar errores en bits.

El CS-PDU es muy simple, lo que hace a la capa AAL tipo 5 relativamente fácil de implementar. Sin embargo una consecuencia de la estructura de este CS-PDU es que no puede transmitir más de un CS-PDU concurrentemente ya que carece del campo de multiplexión, a diferencia del CS-PDU de la capa AAL tipo 3/4, además de que las celdas ATM deben tener el mismo valor de VPI/VCI. Si una capa transmite dos paquetes concurrentemente, las celdas ATM que transportan los respectivos segmentos no podrán ser diferenciadas y como consecuencia los dos CS-PDU serán distorsionados. Esta es una restricción importante en el uso de la capa AAL tipo 5.

---

[2] El mecanismo tiempo fuera (Time Out) consiste en un periodo de tiempo predeterminado durante el cual se debe ejecutar una acción específica. En caso de no llevarse a cabo dicha tarea, se interpretará como un estado de error.

Campo de Información	PAD	Control	Longitud	CRC
		1 byte	2 bytes	4 bytes

0 ≤ Longitud del Campo de Información ≤ 65,535 bytes.

0 ≤ PAD ≤ 47 bytes. Se utiliza para ajustar la longitud del CS-PDU a múltiplos de 48 bytes.

Figura 5.12 Estructura del CS-PDU para la capa AAL tipo 5.

Otro problema con este tipo de capa es que los CS-PDU no tienen un campo de longitud en el encabezado. Mientras que esto simplifica la operación del transmisor, complica la asignación de memoria en el receptor dado que se tiene que efectuar con base en una longitud máxima para cada CS-PDU o bien, es necesario implementar mecanismos de asignación más complejos.

A pesar de los problemas anteriores, la estandarización de la capa AAL tipo 5 es un paso importante ya que existe en la actualidad un estándar completo de la capa AAL para la operación de servicios clase C, lo que permite la conmutación ATM privada y proseguir con el desarrollo de microcircuitos ATM. Es muy posible que los conmutadores ATM privados soporten predominantemente la capa AAL tipo 5 a corto plazo. Aún no está claro si las redes públicas también la adoptarán. Originalmente se suponía que la señalización ATM usaría la capa AAL tipo 4/5, pero las propuestas más recientes sugieren el uso de la capa AAL tipo 5.

El ATM Forum definió recientemente la clase de servicio Tasa de Transmisión Disponible (ABR), que hace uso de cualquier cantidad de ancho de banda disponible, pero con mecanismos de protección contra pérdida de celdas por congestión. Cuando la red detecta congestión, lo notifica al nodo transmisor con el fin de que disminuya su velocidad de envío de información. Este tipo de servicio requiere que se garantice un mínimo de ancho de banda con el fin de que no se detenga la ejecución de la aplicación por falta de la misma.[103]

5.8 Capas superiores

En esta sección se presentan los aspectos relevantes de los protocolos de las capas superiores que comprenden los planos de usuario, de control y de administración. Por medio de la B-ISDN se ofrecerá un gran número de servicios, algunos existen en la actualidad y otros se desarrollarán y pondrán a disposición en el futuro. Estos servicios no son únicamente tecnologías ya que cada uno de ellos tiene precio y parámetros de calidad de servicio que los hace hasta cierto punto complicados.

En el plano de usuario del modelo de referencia para ATM, se debe soportar el ofrecer diferentes tipos de servicios como por ejemplo SDMS, que es un servicio de transmisión de datos a alta velocidad en áreas extendidas. Es ofrecido por diversas compañías de telecomunicaciones en Europa y los Estados Unidos de Norteamérica principalmente. SDMS está orientado a no conexión y su principal objetivo es la interconexión de redes LAN.

También se deben soportar servicios X.25 y Frame Relay, que aún tienen una gran popularidad, y en el caso de Frame Relay un crecimiento notable en nuestro país. Ambos estándares se describen en los capítulos 3 y 4 respectivamente. Otro de los servicios a ser ofrecidos por las redes ATM, y que se espera tengan bastante demanda, son las transmisiones de video. En el caso de videoconferencia por ejemplo, su crecimiento fue de 14% durante 1995 en el continente europeo. Se espera ofrecer también en un futuro cercano televisión de alta definición (HDTV) y video en base a demanda.[35]

Por otra parte, en el plano se control se debe proveer de servicios de señalización que le permitan al usuario establecer y terminar sus conexiones hacia otros servicios en forma dinámica. Finalmente, la capa de administración se refiere a los medios a través de los cuales la entidad central de administración pueda monitorear el desempeño de la red. En principio la ITU no consideró la administración de las redes ATM, dado que existen estándares locales

bien definidos para la administración de los sistemas públicos de conmutación con los cuales se supone deben cumplir las futuras redes ATM públicas.[40]

El ATM Forum está trabajando en el desarrollo de un sistema de administración para las implementaciones de ATM privadas. En la primera versión de los estándares del UNI editados por el mencionado organismo, se definió la Interfase Provisional de la Capa de Administración (ILMI). Esta interfase le permite a las dos entidades de administración de los nodos que están conectados directamente a través de la UNI, administrarla por medio de un protocolo simétrico capa-capa (peer-to-peer).[35]

5.8.1 Plano de usuario

Las capas superiores del plano de usuario incluyen todos los protocolos de los servicios específicos que son necesarios para comunicaciones de extremo a extremo. Estos deben ser independientes de los utilizados en las capas inferiores.

En principio los protocolos existentes en la capa superior pueden ser adecuados para algunas aplicaciones, sin embargo, existirán casos en los cuales se podrán simplificar debido a que algunas funciones de las capas superiores son realizadas por la capa ATM o por la capa AAL. En otros casos puede ser necesario complementarlos. Actualmente se continúa trabajando en la optimización de nuevos protocolos que harán un uso más eficiente de las redes basadas en ATM.[35], [36]

5.8.1.1 Interoperabilidad con Frame Relay

Los servicios Frame Relay están substituyendo gradualmente a nivel mundial a las redes de transmisión de datos X.25. Este fenómeno se está presentando debido a que, a diferencia de X.25, Frame Relay transmite sobre lineas digitales de alta calidad con probabilidades de error muy bajas, lo que le permite lograr velocidades de transmisión elevadas y una alta confiabilidad. Su popularidad hace necesario que las redes ATM cuenten con mecanismos capaces de enlazarse, interoperar y transportar eficientemente transmisiones Frame Relay.

Será común que a corto plazo existan países y regiones que no cuenten con redes ATM pero si con servicios Frame Relay. Por este motivo es importante que existan conexiones entre ambos tipos de equipos y para redes Frame Relay que usen funciones de conmutación y enlaces ATM dentro de las redes de área extendida.

Las funciones de interoperabilidad involucran realizar las transformaciones necesarias a la pila de protocolos Frame Relay para adecuarla a las funciones ATM apropiadas. Esto se realiza por medio del mapeo de las tramas Frame Relay en paquetes AAL-5 para posteriormente segmentarlos en celdas ATM. El mapeo de las tramas se efectúa sin mayores complicaciones ya que caben perfectamente en los PDUs AAL-5. Antes de colocar las tramas en los campos de información de los CPCS PDU, se remueven las banderas HDLC, posteriormente se hace la segmentación a celdas. La detección de error para transmisiones sobre ATM se maneja por medio del código CRC-32 de AAL-5.

5.8.1.2 Interoperabilidad con SDMS

Al igual que con Frame Relay, los acuerdos de implementación de la interoperabilidad permite que se pueda interconectar equipos SDMS y ATM. Debido a que el sistema fundamental de transmisión de SDMS está basado en celdas, su interconexión con ATM no es tan complicado como con Frame Relay.

El principal problema del manejo de ambas tecnologías surge en los sistemas de facturación y del manejo de congestiones. Las dos tecnologías tienen formas diferentes de lograr el mismo objetivo. ATM trabaja en base a anchos de banda y en términos de tasas de transmisión de celdas, mientras que SDMS en tasas de transmisión de información de usuario a nivel de paquetes.

5.8.1.3 Servicio de emulación de circuitos

Con el fin de permitir la interoperabilidad con otros servicios como lineas privadas por ejemplo, ATM ofrece funciones de emulación de circuitos que le permiten al equipo ATM transformar tráfico basado en celdas a cadenas constantes de bits que utilizan los enlaces tradicionales a 1.5, 2, 34 y 45 Mbps. Esto se realiza a través de la capa de adaptación tipo AAL-1.

La capa AAl-1 mapea las cadenas de bits a tasas constantes de transmisión de los circuitos mencionados anteriormente, en celdas con campos de información de 47 bytes. En el otro extremo efectúa el procedimiento inverso, transforma el campo de información en cadenas de bits a tasas de transmisión constante.

5.8.1.4 Redes LAN virtuales

La interoperabilidad de redes LAN con ATM se definió de acuerdo a los tipos comunes de redes de área local como Ethernet, Token Ring y FDDI. La interoperabilidad, permitirá una mayor flexibilidad al extender las LAN hacia otras localidades, de forma que sea posible crear grupos de trabajo y LANs virtuales.

Este servicio de emulación de redes LAN en redes ATM, implica la transformación de las semánticas del Control del Acceso al Medio (MAC) de las redes LAN en circuitos ATM virtuales. La red ATM debe proveer de un servicio que le permita al equipo existente inteoperar con pilas de protocolos especiales en equipos ATM. Un servidor en la red ATM provee de información de enrutamiento y de control para todos los miembros de la LAN virtual.[149]

En el nivel básico, el servicio de emulación de LAN o unidad de interoperabilidad mapea los paquetes LAN en paquetes AAL-5 con encabezados especiales. Esto le permite al circuito virtual ATM funcionar como un cable virtual que reemplaza al enlace fisico que utiliza el protocolo MAC para operar. Esta facilidad hace posible que la LAN sea extendida hasta cubrir grandes distancias, situación que será común asi como la segmentación y transmisión de tráfico para varias subredes LAN en diferentes circuitos virtuales a través del mismo enlace ATM.

La interoperabilidad de equipo LAN tradicional con equipo ATM es un poco más complicado. Con software especial en el servidor y en las tarjetas de interfase de las estaciones de trabajo, se "hace creer" a los programas de aplicación de la estación de trabajo, que se comunican en una LAN típica. La porción ATM de la red es escencialmente invisible a ellos, permitiendose de esta manera la compatibilidad de software de aplicaciones con la red ATM.

El software en las tarjetas de interfase y en el servidor se encarga de registrar las estaciones de trabajo en las LANs virtuales y del envio de los paquetes a sus destinos apropiados. Esto implica no solo comunicaciones punto a punto sino también grupos de difusión que emulen paquetes de difusión LAN.[152]

5.8.1.5 Servicios interactivos de video

El televidente usará equipo tradicional analógico de TV para ver sus videos en base a demanda. Un convertidor comunicará al proveedor del servicio los requerimientos de películas

del televidente. El requerimiento de filmes se señalizará al servidor de video por el sistema de control, con lo que el servidor actualizará la información de facturación del usuario y procederá a transmitir la señal al equipo del televidente.

Para eficientizar el almacenamiento y el ancho de banda de la transmisión, el video se almacena en formatos de compresión. Sin embargo, el enorme costo que implica instalar una planta de cableados de fibra óptica obliga a utilizar los cableados existentes de cable coaxial o de cobre. En algún punto las transmisiones ATM se deben convertir a otro formato. La localización de este punto varía, en algunas arquitecturas la transmisión ATM finaliza en el servidor de video, mientras que en otras llega hasta los puntos de distribución.

5.8.2 Plano de control

Las capas superiores del plano de control proveen de las capacidades de transporte de mensajes de señalización y del control de las llamadas y conexiones. Como solución inicial, estas funciones de control en la interfase usuario-red UNI pueden estar basadas en los protocolos existentes para la señalización entre el usuario y la red. Sin embargo, son necesarias algunas modificaciones.

Muchas de las funciones de la capa dos son efectuadas por la capa ATM y por la capa AAL tipo 3/4 y no es necesario que se realicen nuevamente en la capa dos. El direccionamiento se lleva a cabo por medio de los valores VPI/VCI en la capa ATM mientras que la segmentación y el reensamble son funciones de la capa AAL. Las funciones de la capa tres necesitan ser ampliadas con nuevos elementos de información para la caracterización de las conexiones ATM.

Como se mencionó con anterioridad, la conmutación ATM está orientada a la conexión. El identificador de ruta virtual (VPI) y el identificador de circuito virtual (VCI) son identificadores de conexión que se usan para enrutar la celda a través de la red. La información de la dirección destino está presente únicamente en los protocolos de la capa de servicios. Como consecuencia, se debe establecer una conexión virtual entre dos puntos terminales cualquiera de la red con el fin de que las celdas puedan ser conmutadas en su trayectoria hacia ellos.

El número de posibles enlaces virtuales en redes grandes crece exponencialmente. No es práctico ni eficiente mantener información acerca de conexiones que frecuentemente no se

utilizan. Actualmente, muchas redes ATM se configuran usando circuitos virtuales permanentes (PVC), que son creados por el operador de la red por medio de software de aprovisionamiento que programan el conmutador ATM.

La información de la conexión se mantiene en el conmutador por un periodo de tiempo largo. El usuario debe notificar al operador cada vez que la red necesite ser reconfigurada. El uso de los PVC es común en las redes ATM privadas principalmente por su simplicidad de configuración y tamaño de la red. Se espera que las conexiones virtuales también se usen en las redes públicas de datos para propósitos de emulación de circuitos dado que este tipo de enlaces existen por periodos de tiempo largos.

Por otra parte, los circuitos virtuales conmutados (SVC) se crean dinámicamente por el equipo de conmutación en respuesta a requerimientos de servicio de los puntos terminales. Por medio de un protocolo de señalización, un punto final puede hacer una llamada a través de un PVC dedicado a mensajes de señalización. El equipo de conmutación asigna valores VPI y VCI para cada segmento de la nueva conexión virtual. Cuando la conexión se establece y se puede iniciar la transmisión de datos, se envían mensajes de señalización a cada punto terminal.

El equipo de conmutación mantiene información acerca de la conexión, incluyendo los identificadores de la conexión y parámetros de tráfico. Esta información se mantiene únicamente durante la duración del enlace.

Actualmente se prueban mecanismos que soporten SVC en redes ATM privadas. Se espera su posterior introducción en las redes ATM públicas. Conforme el estándar se afine, estará disponible para las redes multimedia que usarán conexiones múltiples con características diferentes y conexiones punto-multipunto.[147], [85]

La señalización es primordial en el uso eficiente de los recursos de la red. Las conexiones virtuales se crean en base a las necesidades de demanda. El usuario debe tener la flexibilidad de crear enlaces con características apropiadas a sus necesidades inmediatas. Se pueden crear diferentes tipos de conexiones virtuales. El más simple es la conexión punto a punto entre dos nodos terminales. La transmisión de datos es bidireccional entre los usuarios. Por otra parte, las conexiones punto-multipunto se usarán para aplicaciones de difusión, con transmisión de datos unidireccional. En el futuro, se emplearán conexiones multipunto-multipunto para aplicaciones similares a la videoconferencia.

Las conexiones también se diferencian por las características de transmisión de los datos enviados en cada dirección. Cuando se crea el enlace, se negocia un contrato de tráfico. Este contrato especifica los parámetros de tráfico o una lista de parámetros de conexión para cada dirección. Dentro de éstos se pueden mencionar:

- Tasa de transmisión pico de celdas.- Las celdas que se transmiten a velocidades mayores que la tasa de transmisión pico negociada pueden ser descartadas por la red en caso de experimentarse congestiones.

- Tasa de transmisión sostenible de celdas.- Este valor representa la tasa promedio a la cual se transmiten las celdas durante la duración de la conexión. Al especificar las tasas pico y promedio de transmisión de celdas, la red hace un uso más eficiente de sus recursos.

- Tolerancia a la variación en el retardo de las celdas.- Algunos servicios, principalmente en tiempo real como voz y video, requieren que la variación en el retardo de las celdas sea mínima, con lo que se demanda que el interarribo de las celdas sea constante.

- Tamaño máximo de ráfaga.- Este parámetro define el tamaño máximo de la ráfaga de datos que se reciba así como su duración. Se utiliza principalmente en el envío de datos de computadora, como por ejemplo transferencia de archivos.

- Tipo de capa de adaptación.- El usuario puede especificar el tipo de capa AAL a emplear en la conexión (AAL-1, AAL-2, AAL-3/4 o AAL-5). También es posible especificar parámetros de la capa AAL como por ejemplo el tamaño máximo de paquete.

- Parámetros de calidad de servicio.- Cada clase de calidad de servicio lista un grupo de parámetros que describen a un servicio específico. Un ejemplo es el servicio a tasa de transmisión constante (CBR) con variaciones garantizadas en el retardo de las celdas.

Durante el proceso de desarrollo de la tecnología ATM, se definió que la señalización encajaría adecuadamente en una capa llamada Capa de Adaptación de Señalización ATM (SAAL), que a su vez está compuesta por varias subcapas que integran también la subcapa de segmentación y reensamble (SAR) de la capa de adaptación ATM (AAL) mencionada con anterioridad. De esta forma la capa SAAL engloba las siguientes subcapas:

- SAR.- Subcapa de segmentación y reensamble.

- CPCS.- Subcapa de Convergencia de Parte Común.

- SSCOP.- Protocolo orientado a conexión del servicio específico.

- SSCF.- Función de coordinación del servicio específico.

Las subcapas SAR y CPCS proveen del mapeo de paquetes de datos de longitud variable en celdas ATM. Juntas se conocen también como la parte común del protocolo AAL y es idéntica al protocolo AAL-5. La subcapa SSCOP provee de la transferencia confiable de datos entre dos usuarios, tal como lo requieren los protocolos de señalización. Por otra parte, la subcapa SSCF provee del servicio de mapeo entre señales del protocolo SSCOP y primitivas en el punto de acceso al servicio SAAL.

Los protocolos de señalización propiamente dichos, residen en la parte superior de la SAAL que corresponde a las capas superiores del modelo de referencia para ATM, y que involucra directamente al plano de control (C-Plane).

Hasta el momento se encuentran en proceso de estandarización varios protocolos de señalización y algunos ya se han normatizado. Continúan por parte de la ITU y el ATM Forum, los esfuerzos encaminados a la obtención y estandarización de protocolos de señalización que se ajusten a los requerimientos de la tecnología ATM.

Dado que la porción de la parte común AAL (CP-AAL) de la SAAL es idéntica a la AAL-5, comparten su misma especificación que puede estudiarse a mayor detalle en la recomendación I.363 de la ITU, que describe ampliamente a estas subcapas.

El Grupo de Trabajo 11 de la ITU emitió en marzo de 1994 la recomendación final de los protocolos Q.21xx (SAAL). Las versiones previas de las recomendaciones Q.2100, Q.2110, Q.2130 y Q.2140 se conocen como Q.SAAL0, Q.SAAL1, Q.SAAL2 y Q.SAAL3 respectivamente. Estas antiguas revisiones están actualmente en uso a pesar de que el protocolo ha cambiado substancialmente desde entonces.

La especificación de señalización de la interfase ATM usuario-red versión 3.0 se describe en la recomendación Q.2931 de la ITU (conocida previamente como Q.93B). Por otra parte el

protocolo de señalización de la interfase ATM red-red, se describe en las recomendaciones Q.2761, Q.2762, Q.2763 y Q.2764.

Actualmente se encuentra en proceso de aprobación por parte del ATM Forum, la especificación de señalización de la interfase ATM UNI versión 4.0.

5.8.3 Plano de administración

El plano de administración provee de los servicios de control de los nodos ATM. Este plano a su vez se divide en capas. La capa de administración se usa para administrar cada una de las capas ATM. También se tiene la función del plano de administración , que se encarga de la administración de los demás planos.

Actualmente las especificaciones de administración de las redes ATM se concretan a una colección de procedimientos encaminados a la resolución de determinados tipos de problemas. Las herramientas y técnicas utilizadas en el monitoreo y control del tráfico en redes LAN, no son adecuadas para el manejo y administración de redes de área extendida (WAN). Ninguna de las plataformas actuales basadas en el protocolo simplificado de administración de la red (SNMP) ofrece las capacidades necesarias para administrar grandes redes ATM.

Se requiere crear un marco de administración apropiado a las características de la tecnología ATM. Esta construcción no será fácil ya que involucra funciones de administración como aprovisionamiento de servicios, monitoreo de fallas y desempeño, planificación de recursos y facturación.

Con el fin de crear los estándares de administración, el ATM Forum se encuentra desarrollando un modelo de administración ATM de cinco capas y facilidades de operación, administración y mantenimiento (OAM). El modelo define interfases para administrar ambientes híbridos de redes que consisten tanto de redes privadas como públicas y que se extienden desde LAN hasta WANs. También define las celdas OAM especializadas que distribuyen automáticamente información de administración a través de la red ATM.[35]

El inconveniente que se tiene es que muy probablemente la versión final de este estándar tarde varios años en terminarse totalmente. Por este motivo, la organización ha establecido un modelo temporal que da a los operadores de las redes ATM por lo menos las funciones básicas

de administración. Se le conoce como Interfase Provisional de Administración Local (ILMI) cuya versión 4.0 se encuentra en etapa de aprobación por los miembros del ATM Forum.

El ILMI utiliza una conexión virtual previamente especificada en la UNI ATM para establecer la comunicación entre los conmutadores y con las aplicaciones de administración por medio de mensajes SNMP. Sin embargo, ILMI está limitado con respecto a la administración de interfases entre redes y además no distribuye la inteligencia de la administración a través de la red.

El Grupo de Trabajo de Administración de la Red del ATM Forum está desarrollando un modelo de administración de extremo a extremo que incluye servicios de redes ATM públicas y privadas y que establece estándares para la interoperabilidad entre ambas. Se definen cinco tipos de interfases, que van de la M1 a la M5. La M1 y la M2 definen la interfase entre el sistema de administración de la red del lado del usuario con un nodo de la red ATM.

Debido a la popularidad de SNMP, las interfases M1 y M2 incluyen especificaciones basadas en este protocolo. M3 describe la interfase entre el usuario y el sistema de administración de la compañía de telecomunicaciones (carriers) de forma que los administradores de la red tengan control en tiempo real de los servicios que utilizan.

Con la interfase M4 se inicia la unión de las tecnologías de las redes públicas y privadas. M4 permite que el administrador de la red privada y el carrier monitoreen el servicio. El administrador de la red privada utiliza los servicios públicos pero retiene su control para garantizar su calidad. Por otra parte, el carrier podrá supervisar las redes de sus clientes (con su permiso) para poder ofrecer administración de la red como un servicio de valor agregado.

Finalmente, M5 proveerá la interfase de administración entre los diferentes sistemas de administración de las compañías de telecomunicaciones. Debido a los diversos sistemas de administración que utilizan los carriers, esta interfase es la más complicada de definir y no se cuenta inclusive con fechas programadas de estandarización.

Otros grupos se encuentran trabajando con el ATM Forum, incluyendo el Network Management Forum y la ITU, con el fin de negociar los estándares de interoperabilidad entre las redes públicas y privadas.

Por medio de las celdas OAM será posible reconfigurar dinámicamente la red en casos de fallas con el fin de cumplir con los requerimientos de servicio. También los dispositivos de red y estaciones terminales podrán negociar y autoreconfigurarse para lograr los objetivos de nivel de los servicios. Estas arquitecturas estarán altamente distribuidas, en el sentido de que más inteligencia de administración, incluyendo capacidades de monitoreo y configuración, estarán distribuidas a través de la infraestructura de la red.

El ATM Forum especifica tres tipos de celdas OAM. Tendrán identificación especializada y campos que indiquen sus funciones: manejo de fallas, manejo del desempeño y activación/desactivación para inicializar y terminar funciones de manejo de fallas y desempeño.

A pesar de que tome todavía algunos años el desarrollar capacidades OAM, los administradores de redes que requieran funciones de administración ATM no necesariamente tienen que esperar la definición completa de los estándares. Un buen número de proveedores de equipo han implementado aplicaciones de administración propietarias que se basan en las propuestas y especificaciones provisionales.

5.9 Funciones de operación y mantenimiento (OAM)

Los principios básicos de las funciones de operación, administración y mantenimiento están basados en un mantenimiento controlado, el cual consiste de supervisión y monitoreo de prueba y desempeño con el fin de reducir el mantenimiento correctivo. Dentro de las funciones básicas OAM se encuentran: monitoreo del desempeño, detección y localización de fallas así como su aislamiento del sistema. Estos parámetros se informan a las entidades que componen la red.

5.9.1 Organización de las funciones OAM

Se han definido cinco niveles jerárquicos de las funciones de operación y mantenimiento asociados a los flujos de información como se indica en la tabla 5.2

NIVEL	FLUJO
Sección regeneradora	F1
Sección digital	F2
Ruta de transmisión	F3
Ruta virtual	F4
Canal virtual	F5

Tabla 5.2 Niveles jerárquicos de OAM y flujos.

Los primeros tres niveles (flujos F1, F2 y F3) pertenecen a la capa física, mientras que los dos últimos (flujos F4 y F5) pertenecen a la capa ATM. Las funciones de operación y mantenimiento son independientes en cada capa y se tienen que proveer en cada una de ellas.

Los mecanismos para proveer las funciones OAM y los flujos de información asociados dependen de la capa en donde sean aplicados.

5.9.2 Funciones OAM en la capa física

En la tabla 5.3 se muestran las funciones OAM de la capa física en caso de tener un sistema de transmisión SDH. Para sistemas de transmisión basados en celdas se requieren algunas modificaciones, por ejemplo la función "alineación de trama" debe de ser reemplazada por "reconocimiento de celda".

Cuando se utiliza un sistema de transmisión basado en celdas, se pueden detectar las siguientes errores:

En la sección regeneradora: pérdida de señalización, pérdida de reconocimiento de las celdas OAM de la capa física (PL-OAM) y degradación del desempeño por errores en bits. Mientras que en la sección de ruta de transmisión se detectará la pérdida en la delimitación de las celdas, errores en bits del encabezado, fallas de inserción y remoción de celdas vacías.

NIVEL	FUNCIONES	DETECCION DE FALLA
Sección Regeneradora	**Alineamiento de trama** **Monitoreo de errores en bits**	**Pérdida de trama o de señalización** **Desempeño degradado por errores en la cadena de bits (opcional).**
Sección Digital	**Alineamiento de trama** **Monitoreo de errores en bits** **Reporte de errores en bits**	**Pérdida de trama o de señalización** **Desempeño degradado por errores en la cadena de bits.** **Desempeño degradado por errores en la cadena de bits.**
Ruta de Transmisión	**Delimitación de celdas** **Detección de errores en el encabezado** **Offset VC-4** **Desacoplamiento de la velocidad de transmisión de las celdas.**	**Pérdida de sincronización** **Errores en los bits que conforman el encabezado.** **Pérdida del apuntador AU4.** **Fallas de inserción y remoción de celdas vacías.**

Tabla 5.3 Funciones OAM en la capa física.

5.9.3 Funciones OAM en la capa ATM

Las funciones OAM básicas en la capa ATM son el monitoréo de la disponibilidad de ruta virtual y monitoreo del desempeño en los niveles de ruta y canal virtual. En la siguiente tabla se ilustran las funciones OAM en esta capa.

NIVEL	FUNCIONES	DETECCION DE FALLA
Ruta Virtual	**Monitoreo de disponibilidad de ruta** **Desempeño**	**Ruta no disponible.** **Desempeño degradado por pérdida de celdas, inserción de celdas o bits erróneos en el campo de información.**
Canal Virtual	**Monitoreo de disponibilidad de canal** **Desempeño**	**Canal no disponible.** **Desempeño degradado.**

Tabla 5.4 Funciones OAM en la capa ATM.

9.10 Conclusiones

Como puede observarse en el presente capítulo, los principios básicos de funcionamiento de la tecnología ATM están totalmente definidos, sin embargo aún están pendientes de estandarización varias especificaciones. Tal es el caso de los Circuitos Virtuales Conmutados (CVC), que son una pieza fundamental en el funcionamiento de ATM, pero que debido a que aún no existe un método de señalización adecuado al cien por ciento que permita a las terminales ATM, servidores y conmutadores especificar sus tasas de transmisión y las clases de servicios que requieren, no es posible implementarlos eficientemente. Esta situación ha

propiciado que actualmente se utilicen Circuitos Virtuales Permanente (PVC), creando así redes ATM estáticas.

Otro punto pendiente de estandarización, y que es muy importante sobre todo para las futuras redes ATM públicas, es la administración en general y en específico la administración del tráfico que tiene por objeto de controlar el uso de recursos y evitar congestiones. Para esta especificación, que se detalla en el siguiente capítulo, se tienen diferentes propuestas de solución tanto para los mecanismos de control preventivos como para los correctivos. En las redes ATM que se han construido a la fecha, sobre todo privadas que usan enlaces ATM de alta velocidad para unir diferentes redes LAN, se evitan las congestiones restringiendo artificialmente el ancho de banda asignado a las diferentes aplicaciones, lo que trae como consecuencia una subutilización de los recursos y un empleo parcial del potencial que ofrece la tecnología ATM.

CAPITULO 6

ADMINISTRACION DEL TRAFICO EN LAS REDES ATM

6.1 Introducción

La administración del tráfico en las redes de telecomunicaciones se implementa con el fin de controlar el uso de los recursos y evitar congestiones. Para las redes ATM el control de tráfico debe de ser flexible, simple y robusto. Para esta finalidad se han sugerido diversos mecanismos que se pueden clasificar en dos categorías: mecanismos preventivos y mecanismos correctivos. Los primeros tratan de evitar la congestión en la red, mientras que los mecanismos correctivos se aplican una vez que ésta se da. En caso de detección de congestión, se requiere solicitar a las fuentes transmisoras que reduzcan su tasa de transmisión de información o inclusive que detengan momentáneamente el envío para permitir que la red se recupere del estado de congestión en que se encuentra.

Cada clase de control es aplicable en diferentes escalas de tiempo. En particular, los mecanismos correctivos operan a escalas de tiempo mayores que el tiempo de propagación de la señal, es decir, la duración de la transmisión, mientras que las técnicas preventivas están diseñadas para ser efectivas en tiempos tan pequeños como los de transmisión de celdas para asegurar la existencia de recursos a largo plazo.

Es importante mencionar que de los mecanismos de administración del tráfico descritos en este capítulo, ninguno de ellos se ha implementado íntegramente en las redes ATM instaladas a la fecha, ya que ante la carencia de un estándar los fabricantes de equipo han presentado en la mayoría de los casos soluciones propietarias que usaron estas técnicas como base efectuándoles modificaciones e inclusive combinaciones de las mismas para ajustarlas a la naturaleza propia de la tecnología del modo de transferencia asíncrono. Las redes ATM se diseñaron para transportar a altas velocidades diferentes tipos de tráfico con variados requerimientos de calidades de servicio, mismos que se tienen que satisfacer simultáneamente sin desperdicios de los recursos de la red. Lograr este cometido es una tarea compleja y a la fecha no se cuentan con procedimientos que se ajusten totalmente a los requerimientos tan especiales de ATM, sin embargo, las investigaciones y experimentaciones continúan en los principales centros de investigación y desarrollo tecnológico alrededor del mundo por lo que se

espera contar con mecanismos adecuados de administración del tráfico de redes ATM en un futuro cercano.

Las técnicas de control de tráfico propuestas para las redes ATM se clasifican de la siguiente forma:

a) Mecanismos de control preventivo:
   - a.1) Control de admisión de llamadas:
     - a.1.1) Aproximación Gaussiana
     - a.1.2) Reservación rápida de buffers
     - a.1.3) Capacidad equivalente
     - a.1.4) Aproximación del flujo a la proporción de celdas perdidas
   - a.2) Delimitación del tráfico
   - a.3) Supervisión del tráfico
   - a.4) Descarte selectivo
b) Mecanismos de control correctivo:
   - b.1) Técnicas de notificación a los nodos terminales:
     - b.1.1) Estimada por los nodos terminales
     - b.1.2) Notificación explícita de congestión hacia atrás (EBCN)
     - b.1.3) Notificación explícita de congestión hacia adelante (EFCN)
   - b.2) Control adaptativo de la velocidad de transmisión
   - b.3) Negociación de parámetros para llamadas entrantes
   - b.4) Codificación dinámica de la fuente

6.2 Mecanismos de control preventivos

El aprovisionamiento de recursos es una función muy importante para la administración del tráfico en las redes de telecomunicaciones, ya que de esta tarea depende el desempeño alcanzado al asignar adecuadamente los recursos y evitar con ello las congestiones. La topología de la red, el número de enlaces y sus anchos de banda, así como el número de nodos de acceso y de conmutación se determinan en base a los requerimientos de tráfico.

Las redes ATM presentan requerimientos únicos para el aprovisionamiento de recursos. Las rutas virtuales (VP) son conexiones semipermanentes con un ancho de banda determinístico preasignado. Si el ancho de banda reservado para una VP es subutilizado, otra

no puede compartirlo, por definición, y la cantidad de tráfico que pueda transportarse a través de todos los enlaces por los que esta ruta virtual está definida se restringirá artificialmente. Este caso ilustra la necesidad de una planeación óptima de recursos que sólo puede obtenerse mediante el monitoreo constante de las características de tráfico de la red.[20]

6.2.1 Control de admisión de llamadas

Cuando en la red se recibe un nuevo requerimiento de conexión, se efectúa el procedimiento de admisión de llamadas para decidir si estas se aceptan o se rechazan. Las conexiones se aceptan si la red cuenta con recursos suficientes para satisfacer los requerimientos de calidad de servicio solicitados por esa llamada, sin menoscabo de la calidad de servicio de las conexiones existentes. Para llevar a cabo esta decisión, es necesario determinar el ancho de banda que requiere la nueva conexión y asegurar que los niveles de servicio requeridos por las conexiones existentes no se vean afectados cuando se multiplexen con la nueva conexión. Cualquier técnica que se utilice deberá trabajar en tiempo real y deberá de optimizar los recursos de la red.

Para propósitos de modelaje, se puede ver una red ATM como un conjunto de colas interconectadas de acuerdo a la topología de la red. El servidor de estas colas es el enlace entre los conmutadores. En cada punto existe un buffer finito asociado a cada servidor, en donde se almacenan temporalmente las celdas que arriban a una velocidad superior a la que pueden ser transmitidas. En base al modelaje de los nodos ATM, se han desarrollado los algoritmos de admisión de llamadas que se indican a continuación.

6.2.1.1 Aproximación Gaussiana

En este método cada conexión se caracteriza de acuerdo al promedio de velocidad de transmisión de los bits y su desviación estándar. Conociendo estos valores para las conexiones existentes, el algoritmo determinará, una vez que la nueva conexión envía sus datos, si el ancho de banda existente es aún suficiente para dar cabida a la llamada.

Esta técnica es muy simple y puede verse como una solución intermedia de implementación en las redes ATM. Su principal desventaja es que los parámetros mencionados no son constantes en cada conexión, debido principalmente a la diferencia en los servicios que cada aplicación requerirá de la red. No todas las conexiones aceptarán en sus parámetros de calidad de servicio el mismo porcentaje de celdas perdidas. Asimismo el ancho de banda no

podrá utilizarse de manera óptima, ya que la aproximación Gaussiana reserva espacio aún en los periodos de silencio de algunas aplicaciones.

6.2.1.2 Reservación rápida de buffers

En este esquema las fuentes que transmiten información en forma de ráfagas se describen con un modelo de Markov de dos estados[1]. Cuando la fuente inicia su envío de información, se reserva un cierto número de ranuras en el buffer del enlace durante el periodo activo, las cuales son liberadas una vez que la fuente queda en silencio.

Esta técnica utiliza celdas marcadas para especificar la transición de un periodo activo a un periodo de silencio. Se emplea además, un temporizador que obliga el retorno al estado silencioso, con el fin de asegurar que las ranuras reservadas sean eventualmente liberadas.

Para decidir si una nueva conexión puede ser multiplexada en un enlace con las ya existentes, se calcula la probabilidad de requerir más ranuras de las disponibles en los buffers. Si esta probabilidad, llamada probabilidad de exceso de demanda, es superior a un valor predefinido, la nueva conexión será rechazada, en caso contrario será aceptada. Para su cálculo se toman en cuenta los valores pico y promedio de la velocidad de transmisión de bits en la conexión y una variable aleatoria que representa el número de ranuras en el buffer que la conexión requerirá. Este último valor está dado por:

$$B_i = (R\lambda_i)/T$$

Donde:

- B_i es el número de ranuras del buffer que requerirá la conexión i.
- R es el número total de ranuras del buffer disponibles.
- λ_i es la tasa de transmisión pico de bits.
- T es la tasa de transmisión del enlace.

Esta técnica representa un manejo complicado de las conexiones pero optimiza el uso de los recursos del enlace. Es adecuada tanto para aplicaciones sensibles como para no sensibles a pérdida de celdas.

[1] Una fuente de Markov de orden *m* especifica que la probabilidad de que la fuente se encuentre en un estado cualquiera, es determinada por los *m* símbolos precedentes al actual.

6.2.1.3 Capacidad equivalente

En forma similar a los modelos anteriores, las conexiones de la red se caracterizan por medio de un modelo de dos estados: el activo y el silencioso. Sin embargo, este método se basa en los flujos de información en los que se toman en cuenta la tasa de transmisión de bits a la cual la fuente, con buffer finito, alimenta al enlace así como la velocidad de transferencia del enlace.

Cada nueva conexión cuenta con sus valores promedio de velocidad de transmisión, valor pico de la misma y la duración del periodo activo. En base a esta información, el algoritmo calcula la capacidad equivalente que deberá reservarse para dar servicio a la nueva conexión. Si la suma de las capacidades equivalentes de las conexiones existentes más la que resulte de la nueva conexión es aún menor que el ancho de banda del enlace, ésta será aceptada, en caso contrario se rechazará.

6.2.1.4 Aproximación del flujo a la proporción de celdas perdidas

Se considera una fuente con tasa de transmisión de información variable, que alterna con periodos activos y silenciosos, caracterizada únicamente por sus valores pico y promedio de velocidad de transmisión. Se asume que la probabilidad de que la fuente se encuentre en estado activo es m/p, o en estado inactivo $(1 - m/p)$, en donde m es la tasa de transmisión promedio y p es la tasa de transmisión pico.

Este método requiere una cantidad mínima de información para caracterizar a una fuente, aún considerando la variabilidad en la velocidad de transmisión de la información.

Un nodo comenzará a perder celdas cuando la velocidad de arribo de las mismas sea superior a la velocidad a la que son atendidas y no se cuente con ranuras disponibles de buffer. La proporción de celdas perdidas podrá aproximarse a un valor que puede obtenerse de la manipulación de los valores m y p de las conexiones existentes y de la nueva conexión. Las decisiones de aceptación o rechazo de una conexión se podrán realizar en base a un valor umbral de la proporción de celdas perdidas.

6.2.2 Delimitación del tráfico

Por medio de este mecanismo puede controlarse la variabilidad de la velocidad de transmisión de información de algunas fuentes. El ancho de banda que una conexión requiere está limitado por el promedio de la tasa de transmisión y por su valor pico.

Para la mayoría de fuentes con tasas variables de transmisión (VBR), las celdas se generan a la tasa de transmisión pico durante el periodo activo, mientras que durante los periodos de silencio no existe transmisión de celdas. Aprovechando el comportamiento de estas fuentes, es posible reducir la tasa de transmisión pico por medio del almacenamiento de celdas en los buffers antes de ser enviadas a la red, de forma tal que la velocidad de transmisión de las colas sea menor que la tasa de transmisión a la cual arriban las celdas. Este mecanismo se puede aplicar en el equipo fuente o en los puntos de acceso a la red.

Al reducir la tasa de transmisión pico se pueden obtener ahorros significativos en ancho de banda, particularmente para fuentes que transmiten frecuentemente información en ráfagas. Sin embargo, al aplicar este procedimiento el tráfico de usuario sufrirá cierto retraso que en algunos tipos de servicios no puede ser tolerado. Por este motivo, la reducción de la tasa de transmisión pico estará restringida por los valores de los parámetros de calidad de servicio negociados.

6.2.3 Supervisión del tráfico

Esta técnica se implementa con el fin de prevenir congestiones en la red en caso de que la admisión selectiva de llamadas no resulte suficiente para este propósito. Esta situación se presenta principalmente cuando el usuario no respeta los parámetros negociados para la conexión al momento del establecimiento de la misma.

A esta función se le conoce también con el nombre de Control de Parámetros de Uso (UPC) y reside en los puntos de acceso a la red (UNI y NNI). Su principal tarea es detectar violaciones por parte de la fuente, en el uso de los parámetros acordados tan pronto como sea posible y tomar acciones apropiadas para minimizar los potenciales efectos negativos del exceso de tráfico que está generando. Esto se debe lograr en forma transparente para el usuario, de manera tal que el tráfico generado por la fuente no se atrase artificialmente en la interfase.

De acuerdo al diseño de la red, se pueden tomar diversas acciones cuando se detecta que una fuente está violando los parámetros acordados. Dentro de éstas se pueden mencionar las siguientes:

- Descartar las celdas que violen los parámetros negociados.
- Retardar las celdas que violan los parámetros acordados, de forma que su salida de las colas sea de acuerdo a lo pactado.
- Marcar las celdas que violan lo negociado y transmitirlas al siguiente punto. De esta forma la red las podrá descartar en caso de congestión.
- Informar a la fuente que está violando lo establecido, para que tome las acciones pertinentes.

El conjunto de parámetros de tráfico que se requiere controlar es el que se utiliza para caracterizar a una fuente. Se han propuesto varios mecanismos de supervisión de tráfico. En la mayoría de estos esquemas, los parámetros a controlar de la fuente incluyen las tasas de transmisión pico y promedio así como la duración de los periodos activos.

6.2.4 Descarte selectivo

Los esquemas de supervisión están diseñados para proteger a la red y a los consumidores del exceso de tráfico generado por usuarios que no se ajustan a los valores negociados de los parámetros. Sin embargo, para compensar la variabilidad inherente a la naturaleza estadística del tráfico de usuario y para utilizar los recursos disponibles al máximo, la red puede aceptar las celdas, previamente marcadas, provenientes de las fuentes que sobrepasan los valores acordados para los parámetros de tráfico. Estas celdas tienen una alta probabilidad de ser descartadas en caso de que ocurran congestiones en la red.

Los usuarios pueden asignar prioridades a las celdas antes de que estas sean transmitidas a través de la red. El formato del encabezado de las celdas ATM permite el uso de dos niveles de prioridades, de forma que las celdas pueden tener alta o baja prioridad. El espacio en los buffers de los nodos intermedios se puede utilizar para almacenar las celdas entrantes de acuerdo a su prioridad.

6.3 Mecanismos de control correctivo

Cuando un gran número de fuentes en la red generan tráfico simultáneamente, ocurren periodos momentáneos en los cuales se pierden celdas. A pesar de que los mecanismos de control preventivos reducen las probabilidades de que los buffers se saturen, no es posible eliminar totalmente este tipo de eventos debido a la naturaleza estadística del tráfico. La pérdida de celdas ocasiona que los nodos fuente efectúen retransmisiones, lo que incrementa el tráfico en la red que contribuye a la saturación de los buffers y a que se den nuevamente periodos momentáneos de pérdida de celdas.

La mayoría de las técnicas preventivas asignan más recursos de los necesarios, lo que restringe el uso eficiente de los mismos. Aunado a lo anterior, los esquemas preventivos requieren una caracterización precisa de la fuente. Esto hace que sea necesario contar con mecanismos de control correctivos con el fin de monitorear el nivel de congestión en la red, notificar a las fuentes cuando se detecta una congestión y tomar acciones en base a la información obtenida. El objetivo primordial de estos mecanismos es evitar que los periodos momentáneos de saturación se conviertan en periodos momentáneos de pérdida de celdas.

Los mecanismos de control correctivos en las redes ATM no son tan efectivos como en las redes de baja velocidad, debido principalmente a que se tiene un gran número de celdas en tránsito que no pueden ser almacenadas momentáneamente en buffers intermedios cuando ocurre una congestión, ya que es muy caro instalar buffers con tales capacidades de almacenamiento y en algunos casos, los requerimientos de retraso de ciertas aplicaciones no lo permiten. La efectividad de un mecanismo de control preventivo depende de la duración de la conexión, del tiempo durante el cual la fuente transmite y de las distancias existentes entre los nodos terminales del enlace.

El diseño e implementación de esquemas de control correctivo en las redes ATM está aún en proceso de desarrollo. A continuación se describen los más importantes.

6.3.1 Técnicas de notificación a los nodos terminales

Una vez que se detecta la congestión en algún nodo intermedio de la red, se debe notificar a los nodos terminales con el fin de que puedan reaccionar conforme a la situación. Existen a la fecha tres técnicas de notificación de congestión propuestas para las redes ATM.

6.3.1.1 Estimada por los nodos terminales

En este esquema, una de las fuentes transmite celdas de prueba periódicamente con una marca de tiempo al cual se envía. La red no diferencia el manejo de estas celdas con respecto a las demás, ya que sólo tienen significado para el receptor. Dado que no existe ningún campo en el encabezado, el receptor las puede diferenciar de las celdas de datos al revisar su campo de información. Estas celdas de prueba se utilizan en los nodos terminales para estimar el retardo en la dirección de envío. Cuando el nodo destino detecta congestión en la red, en base al incremento en el retardo de las celdas de prueba, notifica el hecho a la fuente con el fin de que proceda a ajustar su velocidad de transmisión.

La principal desventaja de esta técnica es la generación de celdas de prueba en el nodo fuente y su posterior procesamiento en el nodo destino. A pesar de que el ancho de banda que utilizan no es significativo, es tráfico extra para la red. Cuando se tiene miles de conexiones para cada nodo de acceso, el tráfico extra generado es importante. Por esta razón, los organismos responsables de la estandarización de la B-ISDN no la han adoptado y la dejan como una opción para los proveedores del servicio.

6.3.1.2 Notificación explícita de congestión hacia atrás (EBCN)

En un esquema EBCN, cada nodo en la red monitorea constantemente el tamaño de las colas. Cuando alcanza un valor de umbral predefinido, se prepara y envía una celda especial a los nodos fuente de todas las conexiones que pasan a través del nodo congestionado. Este método minimiza el tiempo requerido para notificar a la fuente que existe un nodo congestionado a lo largo de la ruta que emplea su conexión. Al utilizar una celda especial para este propósito, el campo de información de 48 bytes (menos el overhead usado para señalar que transporta una indicación de congestión) se puede usar para incluir una variedad de información acerca del nodo congestionado. De esta forma, los nodos fuente pueden reaccionar más efectivamente a la congestión encontrada a lo largo de su ruta.

Este método no es aceptado por los comités de estandarización como un mecanismo viable para indicación de congestión en las redes ATM. Esto se debe principalmente a que los enlaces de altas velocidades de transmisión limitan la efectividad de este método y a que se requiere procesar las celdas especiales en los nodos intermedios. Además, si no se utiliza el mismo valor VCI en ambas direcciones, los nodos intermedios congestionados tendrían que

establecer una conexión para cada fuente antes de transmitir la celda de notificación de congestión.

6.3.1.3 Notificación explícita de congestión hacia adelante (EFCN)

En forma similar al método anterior, cada nodo en el esquema EFCN monitorea el tamaño de las colas. Cuando alcanza un valor umbral predefinido, se marcan todas las celdas que pasan a través de ese enlace hasta que el periodo de congestión termina. El bit EFCN de una celda se utiliza para indicar congestión y una vez que se fija en un nodo, éste no podrá ser modificado en los siguientes nodos a lo largo de la ruta hacia el receptor. Se puede utilizar un bit reservado en el encabezado de la celda para este propósito. Las celdas marcadas indicarán que existe un nodo congestionado a lo largo de la conexión. Un inconveniente de este esquema es que los receptores no tienen información acerca de cuales nodos en la red sufren congestión.

Debido a los largos atrasos de propagación relativos al tiempo de transmisión de las celdas, puede suceder que cuando la celda marcada alcance el receptor, el nodo marcado ya no esté congestionado. De cualquier forma, la fuente no puede saber si la congestión fue eliminada y procederá a reducir su velocidad de transmisión. Por lo tanto, los receptores no reaccionan a las indicaciones de congestión con la rapidez requerida. Para manejar esta situación, se efectúan estadísticas con el fin de determinar si la congestión a lo largo de la ruta es momentánea o sostenida. Si se decide que se trata de una congestión ininterrumpida, el receptor enviará una notificación de regreso a la fuente.

6.3.2 Control adaptativo de la velocidad de transmisión

En el control adaptativo de la tasa de transmisión, la velocidad del tráfico que se envía a la red será variada por la fuente dependiendo de la información disponible del estado de la congestión.

En un mecanismo de control adaptativo de tasa de transmisión basado en el esquema EFCN, el tráfico de la fuente pasa a través de un servidor de tasa variable. La velocidad de transmisión del servidor se controla por medio de retroalimentación de información por parte del nodo destino. Inicialmente, el servidor enviará el tráfico a una tasa de transmisión nominal misma que incrementará gradualmente hasta alcanzar la tasa de transmisión pico de la fuente. Una vez que se recibe notificación de congestión por parte del nodo destino, la velocidad de

acceso a la red se reduce hasta la tasa nominal y no se incrementa durante un cierto periodo de tiempo.

6.3.3 Negociación de parámetros para llamadas entrantes

Existen algunos tipos de aplicaciones que requieren transmitir solamente uno o algunos bloques de datos, dentro de esta categoría se tienen las interconexiones de redes LAN, correo electrónico y servicio de transferencia de archivos pequeños. El tiempo necesario para establecer y terminar las conexiones para estos tipos de aplicaciones puede ser mucho mayor que el tiempo de transmisión de la información.

Para la negociación de parámetros de llamadas entrantes, se proponen diversas técnicas con el fin de minimizar el overhead utilizado para el establecimiento de la conexión. Una alternativa es establecer rutas virtuales entre los correspondientes nodos terminales, definiendo para ello una red virtual que provea de interconectividad entre los usuarios de este tipo de aplicaciones. Cada ruta virtual (VP) tiene reservado un ancho de banda constante y se origina en algún nodo terminal, el cual tiene control absoluto de la VP. De esta forma, es relativamente fácil administrar el tráfico en las VP por medio de la transmisión, atraso o rechazo de la transferencia del bloque de datos, dependiendo de la carga que se tenga en la ruta virtual. La principal desventaja de este mecanismo es el uso ineficiente de los recursos de la red, dado que las rutas virtuales no pueden ser utilizadas por otros. Esta ineficiencia se puede reducir por medio de VP's conmutados que conecten los nodos terminales

Se han propuesto técnicas alternativas de reservación de ancho de banda. Durante el procedimiento de establecimiento de la llamada, se determina una ruta entre la fuente y el destino. Se envía entonces una celda especial a los nodos a lo largo de la ruta con el fin de reservar un ancho de banda pico para la conexión. Cada nodo puede aceptar, rechazar o garantizar un ancho de banda menor que el requerido. Si se garantizan los requerimientos de la conexión, se transmitirá el bloque de datos. El ancho de banda se libera en cada nodo inmediatamente después de que ha pasado la última celda del bloque de datos. Con este mecanismo se elimina la fase de terminación de la llamada y el overhead de la fase de establecimiento de la conexión se reduce. Por otra parte, los requerimientos de almacenamiento de la conexión en los nodos intermedios serán mínimos, ya que el ancho de banda reservado será igual a los requerimientos de ancho de banda pico.

6.3.4 Codificación dinámica de la fuente

Cuando la fuente recibe una notificación de congestión, puede reducir o detener temporalmente la transmisión de información a la red. Para tráfico que no es sensible al retardo, se pueden almacenar las celdas temporalmente en los buffers de la fuente. Sin embargo, esta opción no es recomendable para tráfico sensible al retardo. En algunos casos la fuente puede reducir el tráfico o marcar las celdas que no son tan esenciales y que se pueden reconstruir a partir de otra celda en el receptor, asignándoles una baja prioridad de pérdida antes de ser transmitidas.

Por ejemplo, las tramas de voz se pueden transmitir los cuatro bits más significativos en una celda y los cuatro bits menos significativos en otra. A esta última celda se le asigna una baja prioridad de pérdida antes de transmitirla para tener la opción de descartarla en caso de congestión.

6.4 Efectos de la congestión en los servicios de las redes ATM

Entre todas las técnicas existentes de administración de tráfico descritas anteriormente, aún no existe consenso sobre cual o cuales son las más apropiadas de aplicar en las próximas implementaciones de redes ATM. En la toma de decisiones sobre los mecanismos de control de tráfico que pudieran emplearse en las redes ATM, se deberán considerar los efectos que tienen las congestiones y la consecuente pérdida de celdas en los diferentes servicios que se ofrecerán a los usuarios.

6.4.1 Servicios de voz

Una celda perdida en servicios codificados de voz y con transmisión de bits a un régimen constante (CBR), contiene 47 bytes de información. Empleando la modulación por codificación de impulsos (PCM) a 64 Kbps, en donde la longitud de la trama es de un byte, lo anterior equivale a 5.785 ms. de voz no escuchada, que se traduce en un click en el extremo de la línea.

A fin de reducir el efecto de las celdas de voz perdidas, se puede utilizar la técnica de abandono de bloques. en este esquema, se emplean dos celdas para transmitir 94 bytes de tramas de voz. Los bits más significativos de todos los 94 bytes se agrupan dentro de una celda

y se transmiten con el bit de pérdida de celda en el encabezado puesto a 1 (alta prioridad), mientras que los bits menos significativos se agrupan en otra celda que será transmitida con baja prioridad. En caso de congestión en la red, ésta podrá emplear la técnica de descarte selectivo con lo que muy probablemente descartará en primera instancia las celdas marcadas con baja prioridad. Sin embargo, el receptor puede recuperar parcialmente estos bits en base a sus técnicas de control de errores, lo que daría como resultado una pequeña reducción en la calidad de transmisión de la voz pero no la pérdida total de ella.

En las recomendaciones de la ITU, el retardo máximo permitido en los extremos de una conexión en la que se transporta voz, es de 25 ms. En las redes ATM, los retardos causados por la codificación y paquetización llegan a constituir una fracción significativa de este periodo, que aunado al retardo inherente de la transmisión de la información, obligarían a la instalación de dispositivos de cancelación de eco aún en distancias relativamente cortas. Una solución a este problema es llenar parcialmente cada celda, con lo que el retardo por paquetización se reduce, pero se tiene la desventaja de que esta técnica presenta un uso ineficiente de los recursos de la red. Otra alternativa es la multiplexión de los canales, en donde la información de más de una fuente de voz se incluye dentro de cada celda. Con este procedimiento se soluciona el problema de retardo por empaquetamiento y además se aprovecha cada celda completamente, su inconveniente es que se incrementa la complejidad en el diseño del receptor.[44]

6.4.2 Servicios de datos

En las aplicaciones de datos en general no se toleran errores ya que se requiere integridad en los mismos. La mayoría de los servicios de datos orientados a conexión requieren de la transmisión de tramas de control con el fin de garantizar la entrega correcta en el receptor. La pérdida de celdas con información de servicios de datos podría tener consecuencias graves en algunas aplicaciones como las bancarias, por ejemplo. Los servicios de este tipo no son sensibles a las variaciones en el retardo y no se necesita mantener una señal de sincronía entre las dos terminales de la conexión.[43]

6.4.3 Servicios de imágenes

A diferencia de la voz, un cuadro de imagen contiene una gran cantidad de información y emplea por lo tanto, un número elevado de celdas ATM en su recorrido. La pérdida de una celda durante la transmisión de un cuadro de imagen puede causar la pérdida de la alineación

de fase para el resto de la imagen y, dependiendo del esquema de sincronización empleado, una sola celda perdida puede alterar grandes áreas del cuadro. Entre las consecuencias visibles de la pérdida de celdas durante la transmisión, se encuentran la interrupción momentánea de la transmisión, algunas líneas distorsionadas o zonas borrosas que disminuyen a medida que se transmiten los cuadro subsiguientes.

Comúnmente, la pérdida de celdas ATM ocurre de manera repentina. Si se pierde una celda, la probabilidad de que se pierda la siguiente es mayor que el promedio general de pérdida de celdas. Aunque es posible compensar la pérdida de una celda durante un periodo T, es más complicado realizar el mismo procedimiento si se tuviese que compensar la pérdida de dos celdas durante un periodo 2T. A diferencia de los servicios de datos, la retransmisión de cuadros con celdas perdidas no es una alternativa viable dadas las restricciones tan grandes que se tienen con respecto a la tolerancia al retardo.

Las variaciones en el retardo de las celdas complican la sincronía del decodificador lo que hace difícil obtener un patrón de reloj estable de las celdas que arriban con características de CBR, pues el componente de variación del retardo se superpone a los intervalos de arribos de celdas. En la codificación del tipo VBR es necesario emplear marcas de tiempo a través de las cuales el transmisor envía información de reloj incluida en las celdas de información generadas.

6.4.4 Servicios de multimedia

El proveer de servicios de aplicaciones multimedia representa una gran variedad de requerimientos para la red ATM, además de un estricto rendimiento en tiempo real. Entre los retos que los servicios multimedia representan para las redes basadas en ATM, como la B-ISDN, destacan:

- Establecimiento de conexiones múltiples.
- Control en tiempo real de servicios integrados en tiempo real, como video, voz y audio.
- Sincronía entre un grupo de usuarios.
- Asignación dinámica de los recursos de la red, considerando los diferentes requerimientos de servicio de cada aplicación.
- Transferencia eficiente a nivel multipunto.
- Sincronización entre diferentes aplicaciones, como la existente entre audio y video.

La solución más simple para superar estos retos, desde el punto de vista del control de tráfico, es no diferenciar entre los requerimientos de servicio de las aplicaciones individuales y asignar los recursos que requiera la aplicación más delicada. Este método, sin embargo requerirá de un mayor ancho de banda del necesario, introduciendo así un desperdicio de recursos de la red.

Una alternativa, es establecer conexiones diferentes para cada aplicación de acuerdo a sus requerimientos de servicio. Esta solución mejora substancialmente el aprovechamiento de recursos pero incrementa la complejidad de la administración y del diseño de la red. Además, se dificulta el manejo del ajuste y variación de los retardos. [42]

6.5 Perspectivas de estandarización

Para el control de flujo en ambientes de redes de área local y de área extendida, el ATM Forum se inclina a favor del esquema de control de flujo basado en la tasa de transmisión (control adaptativo de la velocidad de transmisión). En este esquema, la red ATM envía información al usuario especificando la tasa de envío a la cual debe transmitir. Cuando se presentan principios de congestión en la red, se notifica a las terminales que transmiten tráfico que utiliza únicamente el ancho de banda disponible (servicios de baja prioridad), que disminuyan su velocidad de transmisión con el fin de frenar el proceso de congestión.

Los esquemas de control de flujo basados en tasas de transmisión son mecanismos de retroalimentación de extremo a extremo. En cada extremo de la conexión se cuenta con equipo terminal. Cuando se presentan indicios de congestión, el nodo destino notifica al nodo fuente con el fin de que diminuya su tasa de transmisión hasta que se alcance el estado de equilibrio nuevamente. Si existen nodos de conmutación ATM entre la fuente y el destino, éstos enviarán y actualizarán la información de control de flujo entre los dos equipos terminales. Como puede observarse, en estas soluciones se utilizan combinaciones de los mecanismos de control correctivo EBCN y EFCN.

La ventaja más relevante de este método es que alerta a los nodos terminales del inicio del proceso de congestión, lo que permite tomar medidas preventivas con el fin de evitar la total saturación del sistema. Otra de las razones para implementar los esquemas basados en tasas de transmisión en las redes de área extendida, es que si este servicio lo provee la

compañía de telecomunicaciones cobrará un cargo extra, que a medida que se incremente el tráfico en la red aumentarán también las probabilidades de congestión, lo que puede ocasionar erogaciones significativas por concepto de pagos de servicios de control de trafico.

En el siguiente capitulo se analizan las funciones que deben cumplir los protocolos de transporte, los que existen en el mercado y los requerimientos de los que se implementarán en las futuras redes de banda ancha. Este punto aún no está completamente definido y no se espera su estandarización a corto plazo a pesar de los avances logrados a la fecha. Esto se debe principalmente a las altas velocidades de transmisión que se manejan y a la conveniencia de implementar varias de las funciones en hardware.

CAPITULO 7

PROTOCOLOS DE TRANSPORTE

7.1 Introducción

La función primordial del protocolo de transporte es establecer, administrar y terminar las conexiones de extremo a extremo y proveer de interfases a las capas superiores que lo requieran. En las redes en las que se utilizan circuitos virtuales, los paquetes que envía el transmisor se entregan en secuencia al receptor, generalmente sin ninguna duplicidad, lo que hace que la implementación del protocolo de transporte sea relativamente simple.

7.2 Funciones de transporte

Dentro de las funciones más importantes de los protocolos de transporte se encuentran las siguientes:

- Direccionamiento.

- Establecimiento y terminación de la conexión.

- Control de flujo y de la velocidad de transmisión.

- Almacenamiento temporal.

- Multiplexión.

- Segmentación y reensamble.

- Manejo de paquetes duplicados.

- Recuperación y control de errores.

- Manejo de prioridades.

7.2.1 Direccionamiento

La capa de transporte define un conjunto de direcciones de transporte a través de las cuales tienen lugar las comunicaciones. Para establecer una conexión, la capa local de transporte necesita conocer la dirección del extremo final. Esta dirección puede ser dada a conocer con anticipación o puede ser una dirección bien conocida que rara vez cambia. El proveedor de esta información es el servidor de direcciones.

7.2.2 Establecimiento y terminación de la conexión

En las redes que utilizan circuitos virtuales, para que dos entidades puedan comunicarse es necesario establecer previamente una conexión. Existen dos técnicas diferentes para establecer y terminar un enlace: por medio del uso de mensajes de reconocimiento y por medio de administración implícita.

En la técnica de intercambio de mensajes de reconocimiento, los nodos negocian los recursos que serán asignados a la conexión en el momento del establecimiento de la llamada así como su liberación una vez que se da por terminada la conexión. En el caso de administración implícita, el transmisor envía paquetes de control o paquetes de datos que incluyen información de control al receptor ya sea para establecer o para terminar la conexión. Se utilizan relojes para administrar el estado de los dos nodos terminales, reduciendo de esta forma el número de mensajes intercambiados.

7.2.3 Control de flujo y de la velocidad de transmisión

El control de flujo de extremo a extremo entre dos entidades de transporte es necesario, ya que se debe asegurar que la utilización de los recursos en el receptor durante la duración de la conexión se mantenga dentro de los límites negociados en la fase de establecimiento de la llamada, con el fin de que existan suficientes recursos para aceptar y procesar los paquetes. Este tipo de control de flujo protege a la red, en cierta manera, de posibles congestiones ocasionadas por un número excesivo de paquetes.

Una de las técnicas de control de flujo más utilizadas en la actualidad es la de ventanas deslizantes. En este esquema, el receptor especifica la cantidad máxima de datos que puede aceptar, a esta cantidad se le conoce como tamaño de ventana. El tamaño de ventana se determina en base a la disponibilidad de recursos para el manejo de los paquetes, como la capacidad de almacenamiento temporal y la capacidad de procesamiento en el host. El receptor actualiza el tamaño de ventana disponible y le envía este dato al transmisor como información de control.

Los paquetes que llegan al host pueden ser descartados en la interfase en caso de que lleguen más rápido de lo que pueden ser procesados. Sin embargo, el esquema de ventanas deslizantes no es suficiente para resolver el problema. Si el transmisor envía más paquetes de los que puede manejar la red, se presentarán congestiones. Para evitar esta situación, el transmisor puede utilizar un mecanismo de control de velocidad de transmisión basado en la disponibilidad de recursos en la red. Dado que el tráfico en la red cambia dinámicamente, se debe de monitorear continuamente con la finalidad de ajustar la velocidad del flujo de información en forma apropiada.

7.2.4 Almacenamiento temporal

Los buffers se utilizan en el lado receptor generalmente para regular el flujo de tráfico y para almacenar temporalmente paquetes mientras el procesador está ejecutando otras tareas. Por otra parte, los buffers en el lado transmisor se utilizan para almacenar paquetes hasta que se reciban los mensajes de reconocimiento correspondientes por parte del receptor y para controlar temporalmente el flujo y la velocidad de transmisión.

Para redes de banda ancha con tráfico en ráfagas, es apropiado contar con bufers dedicados en el extremo receptor para que el tráfico pueda fluir a la velocidad máxima de transmisión permitida por la red.

Si los paquetes de datos son del mismos tamaño, se pueden elegir buffers de tamaño fijo, lo que simplifica su esquema de administración sin que exista un excesivo desperdicio de recursos. Sin embargo, cuando el tamaño de los paquetes difieren significativamente para cada servicio, se requiere de buffers de tamaño variable para lograr una utilización eficiente de recursos.

7.2.5 Multiplexión

En la capa de transporte existen dos formas de multiplexaje: multiplexión ascendente y multiplexión descendente. En la primera se multiplexan diferentes conexiones de transporte en la misma conexión de la red, por ejemplo, en un circuito virtual. Este tipo de multiplexaje es adecuado para optimizar el uso de los recursos signados a los circuitos virtuales.

Para aplicaciones de banda ancha, la cantidad de ancho de banda efectiva asignada a una conexión está limitada por el esquema de ventanas deslizantes. Una vez que la ventana se llena, no es posible transmitir más paquetes hasta que se reciba por lo menos un mensaje de reconocimiento de uno de los paquetes transmitidos. La multiplexión descendente provee de una solución para este problema al abrir conexiones múltiples y distribuir el tráfico entre ellas.

7.2.6 Segmentación y reensamble

La capa de transporte del transmisor recibe paquetes de información con longitudes arbitrarias, generados por las capas superiores y los segmenta en paquetes más pequeños conocidos como unidades de datos del protocolo de transporte (TPDU's), que serán procesados por las capas inferiores. En el extremo receptor, estos TPDU's se reensamblan para formar los paquetes de datos originales.

Existen varias razones para segementar los paquetes de datos. Las redes en general imponen un límite en el tamaño máximo de los paquetes a ser transmitidos, los buffers en ambos extremos pueden ser de tamaño fijo para hacer más eficiente su operación. Por otra parte, los paquetes pequeños reducen el desperdicio de ancho de banda en caso de retransmisiones dado que la probabilidad de pérdida de paquetes debido a errores en los bits decrece a medida que el tamaño del paquete se reduce.

El principal inconveniente de la segmentación es que ha medida que se reduce el tamaño de los paquetes se incrementa el overhead asociado, situación que disminuye la capacidad efectiva de transmisión de la red e incrementa el tiempo de procesamiento en los hosts.

7.2.7 Manejo de paquetes duplicados

Cuando los algoritmos de enrutamiento caen en un ciclo ocasionado por fallas en el enlace, inconsistencia de la información de enrutamiento en los nodos o por congestión, puede

suceder que los paquetes transmitidos entre dos nodos terminales se almacenen en la red por un periodo de tiempo indefinido.

Cuando un paquete dentro de la red tarda más en llegar a su destino que el tiempo de tolerancia impuesto en el transmisor (Time Out), éste lo retransmitirá ocasionando en ciertos casos duplicidad de paquetes en la red. El manejo de duplicidad en la capa de transporte del lado del receptor es una tarea que consume cantidades de tiempo considerable y puede tener un impacto significativo en la entrega correcta de TSDU's a las capas superiores.

7.2.8 Control y recuperación de errores

Los servicios de transporte aseguran la entrega correcta de los datos de usuario. Los TPDU's deben de ser entregados libres de errores entre los dos nodos terminales. El lado receptor debe verificar que no existan errores en los bits de los paquetes recibidos y debe enviar al transmisor mensajes de reconocimiento de los paquetes aceptados. En caso de errores o pérdida de paquetes, el transmisor no recibirá los mensajes de reconocimiento y procederá a retransmitir los paquetes hasta que reciba sus mensajes de reconocimiento correspondientes.

Para que se garantice la reconstrucción de la información original a partir de los TPDU's, se ordenan los paquetes usando su número de secuencia en el proceso de reensamble, se debe considerar también la posible existencia de paquetes duplicados, en cuyo caso se procederá a descartarlos.

7.2.9 Manejo de prioridades

Los protocolos de servicio tienen diferentes requerimientos de niveles de calidad de servicio. Con el fin de garantizarlos, se pueden dar prioridades en la asignación de recursos para los procesos de la capa de transporte, como número de buffers y poder de procesamiento.

Este es un aspecto particularmente importante para las redes de banda ancha, ya que integran diferentes tipos de aplicaciones con requerimientos de servicio distintos.

7.3 Características de los protocolos de transporte

A continuación se describen las características más importantes de los protocolos de transporte.

7.3.1 Señalización

La señalización es la función de intercambiar información de control entre los usuarios del servicio de transporte con el fin de administrar la conexión. Se utilizan generalmente dos métodos, la señalización fuera de banda y la señalización dentro de banda. En la primera los paquetes que transportan información de control se multiplexan en la misma conexión utilizada para la transmisión de datos, mientras que en la señalización fuera de banda se utilizan conexiones independientes para control y para transmisión de datos.

La señalización dentro de banda tiene el inconveniente de incrementar el tiempo de procesamiento de los paquetes ya que se tiene que verificar si se trata de un paquete de control o no. Por otra parte, la señalización fuera de banda reduce estos tiempos de procesamiento y simplifica el diseño e implementación del protocolo. Es posible utilizar el mismo sistema de señalización para varios protocolos e inclusive incorporar servicios adicionales como seguridad y facturación. El uso de señalización fuera de banda permite una negociación de parámetros, previa a la transmisión de datos, más flexible y eficiente.

7.3.2 Administración de la conexión

La administración de la conexión se efectúa generalmente por medio del envío de mensajes de control. Los siguiente procedimientos son los más utilizados en los protocolos de transporte:

- Acuerdo triple.- En este método el transmisor envía un mensaje al receptor requiriendo el establecimiento de la conexión. El receptor envía un mensaje de regreso para asegurarse que es un requerimiento original y eliminar la posibilidad de que esté duplicado. El transmisor enviará un mensaje indicando que no es un requerimiento duplicado y se establecerá la conexión. Eventos similares tienen lugar en la terminación de la conexión.

- Acuerdo doble.- Funciona en forma parecida al método de acuerdo triple, excepto que el transmisor no necesita enviar al receptor un mensaje indicando que no se trata de un requerimiento duplicado.

En el caso de administración implícita, la conexión se establece con la llegada del primer paquete al receptor, mientras que la terminación de la conexión se efectúa mediante el uso de temporizadores.

El overhead por administración de la conexión depende principalmente de la duración de la misma. Si la conexión permanece activa por un periodo de tiempo grande, el overhead será poco significativo, pero puede darse el caso de que tome más tiempo el establecimiento y terminación de la llamada que el tiempo efectivo de transmisión de datos, sobre todo en el método de acuerdo triple. En esta situación será más adecuado utilizar la administración implícita, pero es necesario utilizar señalización dentro de banda. El método de acuerdo triple puede implementarse fácilmente usando señalización fuera de banda.

7.3.3 Parámetros de conexión

Los parámetros de conexión son el conjunto de valores intercambiados durante la duración del enlace, como por ejemplo negociación en la fase de establecimiento, actualizaciones durante la transferencia de datos y selección del modo de operación. En la selección del modo de operación se elige el tipo de servicio requerido por la capa de transporte. Por ejemplo, el modo 1 corresponde a un servicio sin control de error ni de flujo, se utiliza en interacciones rápidas entre terminales conectadas al host, el servicio modo 2 puede inhabilitar únicamente el manejo de errores, por ejemplo en el caso de voz paquetizada y el modo 3 puede proveer de control de error y de flujo.[20]

7.3.4 Multiplexión

La multiplexión en la capa de transporte consiste en colocar varias conexiones de transporte en un circuito virtual, principalmente para incrementar su utilización. La multiplexión en las redes ATM podría ser no tan efectiva como en las redes actuales debido a que incrementará el tiempo de procesamiento en el receptor. En particular, se espera que las redes ATM transporten un gran número de conexiones simultáneamente, lo que traerá como consecuencia que las operaciones en el receptor para demultiplexarlas tengan un mayor tiempo de procesamiento.

7.3.5 Mensajes de reconocimiento

Los paquetes de reconocimiento se utilizan para indicar si los paquetes fueron aceptados por el receptor. Estos paquetes no son necesarios cuando se cuenta con enlaces de datos plenamente confiables. En caso contrario, se utilizan los siguientes dos métodos:

- Reconocimiento dependiente del transmisor.- Este procedimiento puede ser inicializado por el receptor una vez que recibe un cierto número de paquetes, o el transmisor puede requerirlo después de transmitir un determinado número de paquetes.

- Reconocimiento independiente del transmisor.- En este caso el receptor inicializa el proceso por medio de temporizadores de control.

Los mensajes de reconocimiento se utilizan para actualizar el estado de la información con el fin de descartar los datos almacenados temporalmente en los buffers del transmisor para su posible retransmisión.

7.3.6 Técnicas de control de flujo

La función primordial de las técnicas de control de flujo en la capa de transporte es evitar congestiones en el receptor. Se utilizan comúnmente los siguientes dos tipos de métodos:

- Mecanismos de control de flujo de extremo a extremo.- En este método, el número de paquetes que se envía dentro de un cierto periodo de tiempo es controlado por el receptor por medio de mecanismos de ventanas. El procedimiento se realiza entre el receptor y el transmisor y su función es proteger al receptor de congestiones.

- Control de tasa de transmisión.- La tasa de envío de paquetes por parte del transmisor, se puede negociar en la fase de establecimiento de la conexión (control explícito) o dinámicamente, usando el retraso estimado del viaje redondo de los paquetes (control implícito), o por medio de ambos métodos. Este tipo de control se efectúa entre la red y el transmisor y su objetivo es proteger a la red de congestiones.

A medida que la velocidad de transmisión se incrementa, la efectividad del control de flujo de extremo a extremo disminuye debido al gran número de bits en tránsito.

7.3.7 Manejo de errores

El manejo de errores es necesario para garantizar que los servicios de transporte sean confiables. No es posible eliminar completamente los errores que sufren los bits en el medio de transmisión ni la pérdida de celdas por saturación de los buffers.

Cuando arriba una celda con daños a la capa de transporte, se debe de descartar. Se requiere informar al transmisor de las tramas que se descartan y de las que se aceptan con el propósito de retransmitirlas o liberar los buffers. Para llevar a cabo esta función existen tres métodos:

- Si el receptor detecta un error en la trama recibida, puede enviar un mensaje de reconocimiento negativo (NACK) al transmisor identificando la trama después de la cual se perdieron los datos.

- El receptor puede enviar al transmisor un paquete con un mensaje de reconocimiento negativo que contenga los números de secuencia de los paquetes dañados o perdidos. A esta técnica se le conoce como descarte selectivo (SRej).

- En el método de reconocimiento positivo con retransmisión (PAR), se envían mensajes de reconocimiento por los paquetes aceptados por el receptor. En esta técnica, la retransmisión de paquetes se efectúa por medio de temporizadores en el transmisor, si el tiempo de espera expira y el transmisor no ha recibido los mensajes de reconocimiento, retransmitirá nuevamente los paquetes.

Una vez que se detecta un error, existen dos esquemas básicos para manejar los errores en el transmisor: regresar a n (go-back-n) y repetición selectiva (SR). En el método regresar a n, después de detectar una trama dañada o perdida, se descartan todas las tramas subsecuentes a ella y no se envían mensajes de reconocimiento. El tiempo en los temporizadores del transmisor expirará y enviará nuevamente las tramas cuyos mensajes de reconocimiento no ha recibido. El método PAR utiliza este esquema para la recuperación de errores. Su inconveniente es el desperdicio de ancho de banda, sobre todo en tasas de transmisión elevadas ya que el número de paquetes a retransmitir será considerable.

En la técnica de repetición selectiva, todos los datos que se reciben correctamente después de detectar una trama perdida o con daño, son aceptados por el receptor. El transmisor enviará nuevamente los datos perdidos y el receptor los recibirá correctamente y transmitirá los números de secuencia de los datos aceptados. Este esquema requiere de buffers grandes y de más tiempo de procesamiento en el receptor que el método regresar a n.

Para minimizar los inconvenientes de cada método, se pueden utilizar ambos dinámicamente en base a los errores encontrados durante la duración de la conexión.

7.4 Evaluación de las funciones de los protocolos de transporte

Para las redes de banda ancha es preferible implementar la señalización fuera de banda para el control de paquetes, ya que reduce el procesamiento de los paquetes de datos. Además, puede soportar más de un tipo de transporte de datos en una conexión establecida.

Para la administración de la conexión, los mecanismos de acuerdos no son aceptables en casos de enlaces con tiempo de duración muy pequeño. Por otra parte, los esquemas implícitos requieren que el estado de la conexión se mantenga por un tiempo cuya duración es del orden de tres veces el retardo máximo de extremo a extremo que tiene el último paquete transmitido. Si se considera el gran número de conexiones que maneja un nodo final, se advierte que estos esquemas no son adecuados para las redes de banda ancha.

Para establecer los enlaces tan rápido como sea posible, se puede inicializar la conexión con un conjunto de valores fijos para los parámetros de conexión. Estos valores pueden estar basados en la información que tiene el transmisor con respecto al receptor. La información puede no estar actualizada, como tampoco los tipos de requerimientos de la aplicación, pero conforme cambia dinámicamente la red, puede actualizar sus valores durante la duración de la conexión y el protocolo de transporte puede proveer eficientemente los medios para soportar esta función en las redes de banda ancha.

Es posible utilizar la multiplexión para utilizar más eficientemente los recursos en las capas inferiores. Sin embargo, esta ventaja puede ser eliminada por la demultiplexión de las conexiones en el otro extremo.

En general, se efectúa más procesamientos en el receptor que en el transmisor. Por este motivo, se utilizan los esquemas de reconocimiento con inicialización en el transmisor para reducir el procesamiento en el receptor. Como una alternativa, el receptor puede enviar mensajes de reconocimiento periódicamente o condicionado al número de paquetes recibidos. Estas alternativas tienen el inconveniente de requerir temporizadores o procesamiento extra por cada conexión y puede ser prohibitivo a medida que se incrementa el número de conexiones.

Para el control de flujo se utilizan los esquemas basados en ventanas y el control de tasa de transmisión. Ninguno de estos esquemas en forma aislada son adecuados para las redes de alta velocidad, por lo que se requiere utilizarlos simultáneamente.

Para el manejo de errores, la técnica regreso a n y repetición selectiva presentan el inconveniente de la cantidad de procesamiento requerida en el receptor, particularmente el reordenamiento de los paquetes. El esquema más adecuado de recuperación de errores para las redes de banda ancha es aquel que permite la utilización de ambos mecanismos.

7.5 Protocolos de transporte convencionales

Para las redes comerciales estándares existen dos protocolos convencionales: El protocolo de control de transmisión (TCP) y el protocolo de transporte ISO clase 4 (TP4), mismos que se describen a continuación.

7.5.1 TCP

El protocolo TCP, que es orientado a conexión, fue diseñado para proveer un servicio de entrega confiable de datos entre dos nodos terminales y funciona en modo full-duplex. Se utiliza acuerdo triple para la administración de la conexión y señalización dentro de banda para el establecimiento y terminación del enlace. Para los mensajes de reconocimiento utiliza el método PAR y el transmisor utiliza temporizadores para retransmitir los paquetes cuyos mensajes de reconocimiento no han sido recibidos. Los parámetros de la conexión se negocian en la fase de establecimiento de la llamada y pueden actualizarse durante la transmisión de datos.

En TCP también pueden multiplexarse las conexiones de transporte en los circuitos virtuales con el fin de incrementar la utilización de recursos. Para el control de flujo de extremo a extremo de la conexión se emplea el mecanismo de ventanas deslizantes.

Debido a que en la actualidad es común que se use el protocolo TCP/IP para la transferencia de datos y a la creciente construcción de redes ATM de área extendida, es sumamente importante el desempeño de las conexiones TCP en las redes de banda ancha. Algunas de las características de la tecnología ATM degradan significativamente las tasas de envío de las conexiones TCP cuando se presentan congestiones. Para remediar esta situación se han hecho varios estudios y se han presentado propuestas de solución, sin embargo, la mayoría de ellas implica adaptaciones complicadas en los conmutadores ATM.

Michael Perloff y Kurt Reiss presentaron en su artículo "Improvements to TCP performance in high-speed ATM networks" de la revista Communications of the ACM del mes de febrero de 1995, un estudio sobre el comportamiento de TCP en redes ATM y ofrecen dos métodos que mejoran el desempeño de dicho protocolo.

Para el estudio se consideró una configuración de red representativa de un ambiente computacional colaborativo y distribuido en una área extensa. La red cuenta con enlaces de alta velocidad que conectan las estaciones de trabajo de los usuarios y las supercomputadoras a través de un conmutador ATM.

Una de las causas principales de la merma en el desempeño de TCP en las redes ATM, tiene su origen en la sincronización de las ventanas TCP inducida por la pérdida múltiple de paquetes como consecuencia de saturaciones en los buffers.

En la simulación se consideraron transferencias infinitas de archivos. Se usó la capa de adaptación ATM AAL-5 para convertir los paquetes TCP en celdas ATM. Se seleccionaron parámetros TCP, que son proporcionados por el usuario, representativos y eficientes para transferir archivos grandes de datos entre estaciones de trabajo y supercomputadoras.

El protocolo TCP cuenta con algoritmos de control de congestión, implementados por el transmisor, que consisten de las siguientes tres partes:

- Inicio lento (Slow Start).- El transmisor inicia el envío con un tamaño de ventana de un paquete, mismo que incrementa gradualmente conforme recibe los mensajes de

reconocimiento, hasta alcanzar el tamaño máximo de ventana definido previamente. Cuando se detectan congestiones, el transmisor reduce el tamaño de la ventana de envío de paquetes a la mitad. Cuando se detecta la pérdida de paquetes se reduce la ventana a un paquete y se inicia la retransmisión.

- Prevención de estados de congestión.- En este modo, el transmisor incrementa el tamaño de la ventana en un paquete cada vez que recibe mensajes de reconocimiento por el tamaño máximo de ventana transmitido. Esto le permite al usuario incrementar el volumen de envío hasta rangos cercanos a la congestión pero sin llegar a el, con lo que se aprovecha el ancho de banda disponible.

- Retransmisión y reducción exponencial del tamaño de ventana.- Cuando se detecta pérdida de paquetes el tamaño de la ventana se reduce a uno para las transmisiones y se retransmiten los paquetes que se hayan perdido. Con este mecanismo se reduce considerablemente la capacidad de envío en periodos sostenidos de congestión.

Para hacer más efectiva la utilización de los canales y poder manejar tamaños de ventana más amplios, en las redes convencionales se instalan buffers grandes en los nodos de la red, como en los ruteadores por ejemplo. Sin embargo, esta no es una solución muy eficiente en las redes ATM ya que sus conmutadores operan a altas velocidades y sus memorias internas son extremadamente caras. Por las altas velocidades de transmisión en ATM, la pérdida de celdas multiplexadas, cada una con información perteneciente a diversos paquetes de varias conexiones, tiene un impacto desfavorable en el desempeño del protocolo TCP ya que sus tiempos de recuperación se elevan significativamente.

En la propuesta de solución se presenta un conmutador ATM que cuenta con dos buffers paralelos en cada puerto de salida. Uno de ellos se utiliza para los servicios con tasa de transmisión constante (CBR) y el otro para aplicaciones con tasas de variables de transmisión (VBR). Obviamente, las celdas que se encuentran en el buffer para servicios CBR tienen prioridad sobre las demás. Al separar el tráfico en dos buffers permite que el segundo sea lo suficientemente grande para soportar bajos niveles de pérdida de celdas para tráfico en ráfagas (como en el caso de trasferencia de datos TCP).

Uno de los mecanismos de congestión propuestos para mejorar el desempeño de TCP en las redes ATM se basa en el empleo del mecanismo de Control de Uso de Parámetros (UPC), que es muy simple y se puede implementar sin cambios en los algoritmos TCP. Se definen tres

parámetros: tasa pico de transmisión de celdas, tasa sostenible de transmisión y tolerancia a ráfagas. En el algoritmo se generan créditos a tasas de transmisión constantes, cada celda enviada consume un crédito, con lo que se limita a largo plazo la tasa de transmisión promedio, que no puede exceder en ningún momento la tasa pico negociada. Este método propicia la desincronización de las ventanas de congestión de las diferentes conexiones con lo que se mejora el desempeño de TCP.

El otro método está basado en el control del bit CLP de las celdas ATM que transportan tráfico TCP, se usa también el algoritmo de control de congestión de TCP y la capa AAL. Se emplea una celda de prueba, marcada en su CLP, para prevenir las congestiones cuando el transmisor incrementa sus tasas de envío. Si se descarta esta celda, indicará que se tienen saturaciones y se procederá a ajustar la velocidad de envío del transmisor. Cada que se incrementa el tamaño de ventana se envía este tipo de celdas en la primera transmisión.

Al usar conjuntamente conmutadores ATM con espacios más amplios y paralelos de memoria y los mecanismos de control de congestión mencionados anteriormente, mejora notablemente el desempeño de TCP en las redes ATM. Los resultados de las evaluaciones mostraron que al usar buffers paralelos con capacidad para 8,000 celdas y el mecanismo de control de congestión basado en UPC, se incrementó el nivel de utilización de los enlaces hasta un 75%. Cuando se usó el mecanismo basado en el bit CLP, este incremento fue del 85%. Los resultados contrastan con 53% y un 72% obtenidos al usar buffers con capacidades de 4,00 y 8,000 celdas respectivamente y sin mecanismos de control de congestión adicionales. Es importante señalar que el estudio se limitó a analizar el desempeño de TCP en un estado de equilibrio, suponiendo transferencias infinitas de archivos. En una segunda etapa se pretende analizar el comportamiento dinámico de las conexiones TCP, en donde algunas conexiones tienen tiempos de duración largo mientras que otras se incorporan o remueven.

7.5.2 ISO/TP4

El TP4 es una de las cinco clases de protocolos de transporte orientados a conexión desarrollados por la Organización Internacional de Estándares (ISO). TP4 provee un servicio de transmisión confiable a través de redes con alta probabilidad de errores. A diferencia de TCP, TP4 cuenta con mecanismos para que el usuario pueda negociar los parámetros de calidad de servicio de sus conexiones. Los parámetros de la conexión que se negocian en la

fase de conexión se pueden actualizar durante la transmisión de los datos. El servicio de datos es orientado a paquetes, a diferencia de TCP que es orientado a bytes.

En TP4, las conexiones de transporte se pueden dividir en un número determinado de rutas de red. Para el establecimiento de la conexión se utiliza el método de triple acuerdo, mientras que la terminación se efectúa por medio de las capas superiores y por lo tanto utiliza la técnica de acuerdo doble. Los mensajes de control se intercambian por medio de señalización dentro de banda. TP4 provee de multiplexión de las conexiones de transporte en conexiones de red. Para los mensajes de reconocimiento emplea el método PAR y el transmisor utiliza temporizadores para retransmitir los paquetes sin reconocimiento. Para el control de flujo se utiliza el esquema de ventanas deslizantes.

7.6 Protocolos de transporte simplificados

Los protocolos de transporte simplificados, son aquellos que se diseñaron de forma que requieren de menos instrucciones para la transmisión de datos, así como para su recepción en caso de que no ocurran errores, reduciendo de esta forma el overhead para las comunicaciones. Los más relevantes son los siguientes:

7.6.1 Delta-T

El protocolo Delta-T fue desarrollado en el Lawrence Livermore National Laboratory para un ambiente con un amplio rango de sistemas heterogéneos, que van desde micro computadoras hasta supercomputadoras, para soportar transacciones del tipo requerimiento y respuesta necesarias en las interacciones entre cliente y servidor, y del tipo de comunicación en cadena para sesiones de terminal y transferencia de datos. Provee de un servicio confiable de transporte de extremo a extremo, orientado a cadenas, a través de un servicio de datagramas poco confiable y soporta multiplexión en la capa de transporte.

Las conexiones se establecen por medio del esquema implícito y se utiliza la señalización dentro de banda para el establecimiento de la conexión. Este protocolo demuestra el rol fundamental de los mecanismos de temporizadores en los métodos de administración segura de la conexión, ya que su esquema de administración de la conexión está basado exclusivamente en ellos. La conexión entre los dos nodos se establece, tanto en el transmisor como en el receptor, por medio del primer paquete transmitido. Por lo tanto, no existe negociación de

parámetros de conexión durante la fase de establecimiento de la llamada. Sin embargo, estos valores fijados previamente se pueden actualizar durante la transferencia de los datos. Los temporizadores del receptor y del transmisor aseguran que se mantenga el estado de la conexión lo suficiente para garantizar la adecuada terminación de la llamada y que se genere y acepte una secuencia de números apropiada.

El protocolo Delta-T utiliza el método de CRC para detección de errores en el encabezado, y en forma opcional, para los datos. Para reportar los errores detectados, se emplea la técnica NACK, mientras que para el control de flujo de extremo a extremo se aplica el mecanismo de ventanas deslizantes. Para la detección de errores, a nivel byte, se hace uso de los números de secuencia y del esquema regresar a n para retransmitir los datos erróneos o perdidos.

7.6.2 Protocolo Universal del Receptor (Datakit)

El protocolo universal del receptor (URP), fue diseñado para transmitir eficientemente los datos de usuario independientemente del protocolo utilizado por el usuario final. Esto se logra mediante la encapsulación del protocolo y la utilización de circuitos virtuales para el transporte del tráfico. Se pueden usar paquetes de tamaño variable, la unidad fundamental de transmisión en la capa de transporte es una unidad de nueve bits, que se utiliza para multiplexar datos y mensajes de control durante la transmisión. Sin embargo, no se permite la multiplexión de las conexiones de transporte dado que existe una correspondencia de uno a uno entre las conexiones de transporte y las conexiones de red.

Las redes URP utilizan un algoritmo de servicio de colas que le da prioridad a los mensajes cortos sin perder la secuencia apropiada de la transmisión en cualquiera de los circuitos virtuales. A medida que se visita cada cola, se transfiere cierta cantidad de sus datos pare ser paquetizados y transmitidos. Esta cantidad depende del número de circuitos virtuales activos, y se determina de forma tal que se atienda cada cola durante un periodo de tiempo razonable que permita el cumplimiento de los requerimientos del usuario.

El control de flujo y la detección y recuperación de errores son opcionales en el protocolo URP y pueden elegirse de acuerdo a los requerimientos de cada aplicación. Para el reporte de los errores se utiliza el método NACK y la técnica ARQ con regresar a n para la corrección de los mismos. La administración de la conexión se implementa por medio de la señalización fuera de banda con reconocimiento doble. Los parámetros de la conexión se

negocian en la fase de establecimiento de la llamada y se pueden actualizar durante la duración de la conexión. URP provee de varias opciones en el modo de operación que pueden ser seleccionadas por el usuario.

7.6.3 NETBLT

El protocolo de red para transferencia en bloques (NETBLT) fue diseñado para transferencias a alta velocidad de bloques de datos. NETBLT funciona sobre redes de datagramas de baja confiabilidad y opera eficientemente en enlaces con atrasos considerables, como los enlaces satelitales. Este protocolo utiliza el CRC para la detección de errores en el encabezado y se puede utilizar, en forma opcional, para detección de errores en los datos. Para la administración de la conexión se emplea la señalización dentro de banda y el acuerdo doble. Los parámetros de la conexión se negocian en la fase de establecimiento de la llamada y se pueden actualizar durante la transferencia de los datos. Las conexiones se multiplexan en la capa de transporte.

NETBLT separa las funciones de control de flujo y control de error. El control de flujo se lleva a cabo por medio de mecanismos de ventanas deslizantes y control de velocidad de transmisión. Para la detección de errores en el encabezado se utiliza el método CRC con aplicación opcional a los datos. Para el reporte de los paquetes perdidos o erróneos se utiliza el esquema de rechazo selectivo y para el manejo de errores el mecanismo ARQ con retransmisión selectiva.

7.6.4 VMTP

El protocolo versátil de transacción de mensajes (VMTP) se diseñó para sistemas distribuidos con repetidas interacciones de requerimientos y respuestas. Este mecanismo provee del transporte de las comunicaciones por medio de la transacción de mensajes. Una transacción de mensajes consiste del envío de un mensaje de requerimiento por parte del transmisor, seguido o no de la transmisión de un mensaje por parte de cada receptor. VMTP asume un servicio de red subyacente que provee de datagramas. Utiliza además, el intercambio de transacciones para facilitar las acciones de comunicación de las capas superiores y soporta multiplexión en la capa de transporte.

Una vez que se establece la conexión, el protocolo VMTP soporta el intercambio de mensajes fuera de banda para el control de la conexión. Los parámetros de la conexión se

negocian en la fase de establecimiento de la llamada y se pueden actualizar durante la transmisión de los datos. Provee además, de varias opciones en el modo de operación que pueden ser seleccionadas por el usuario. Los mensajes de reconocimiento de los paquetes están implícitos en los mensajes de respuesta. el control de flujo se logra controlando el tiempos de intertransmisión de los paquetes.

En este método existen tres tipos de transacciones de mensajes. Se utiliza una transacción de mensajes de grupo cuando un cliente desea enviar un mensaje a un grupo de usuarios. En respuesta, el cliente podrá recibir varios mensajes. Una transacción de datagrama se usa cuando no se necesita una respuesta por parte del receptor a un mensaje de requerimiento. Finalmente, una transacción de sesión de mensajes ocurre cuando se envía a un servidor la transacción que envió un cliente, y ésta a su vez se retransmite a otro servidor que contestará directamente a ese cliente. VMTP utiliza el método de CRC para la detección de errores en el encabezado y se puede aplicar en forma opcional a los datos.

7.6.5 RTP

El protocolo de transporte rápido (RTP) es confiable y provee al usuario con funciones orientadas a conexión y, opcionalmente, servicios de datagrama. Dentro de las funciones del protocolo RTP se encuentran la segmentación de los paquetes, su reensamble, verificación de secuencia, retransmisión, entrega de paquetes en orden y multiplexión de conexiones de transporte.

RTP establece la conexión de extremo a extremo por medio del primer paquete enviado. Una vez que se recibe, el receptor enviará un mensaje de reconocimiento que incluye un conjunto de parámetros de conexión. La terminación de la conexión se efectúa a través del último paquete transmitido. El transmisor puede o no requerir del envío de un mensaje de reconocimiento por el último paquete enviado.

El control de flujo de extremo a extremo se realiza por medio de mecanismos de ventanas deslizantes. La retransmisión de los paquetes perdidos o con daños, se puede efectuar mediante el uso del esquema de repetición selectiva o por el método de manejo de errores regresar a n.

7.6.6 XTP

El protocolo de transferencia express (XTP), es un protocolo confiable que trabaja en tiempo real y combina las funcionalidades de las capas de transporte y de red en una sola. Este protocolo se diseño de forma tal que es posible implementarlo en hardware. Las funciones de traducción de direcciones, creación de contexto, control de flujo, control de error, control de tasa de transmisión e interfases se pueden realizar en paralelo. XTP soporta multiplexión de conexiones de transporte así como servicios de circuito virtual y de datagrama en la capa de transporte.

Los parámetros de conexión se intercambian durante la fase de establecimiento de la llamada y se pueden actualizar durante la transmisión de los datos. El modo de operación se puede modificar durante la duración de la conexión. XTP también provee de mecanismos para multiplexar las conexiones de transporte en los circuitos virtuales con el fin de incrementar la utilización de los recursos.

La conexión se establece por medio del primer paquete transmitido, para la terminación de la conexión se utiliza el método de triple acuerdo. Para ambas funciones se utiliza la señalización dentro de banda. Además, es posible utilizar opcionalmente la técnica de acuerdo doble para el establecimiento de la conexión. Para el control de flujo de extremo a extremo se utilizan mecanismos de ventanas deslizantes, asimismo utiliza el control de tasa de transmisión para restringir el tamaño de los bloques de datos que envía el transmisor.

La detección de errores en el encabezado se realiza por medio de un CRC, que se puede aplicar en forma opcional a los datos. Si el receptor detecta un error en el paquete recibido, lo notificará al transmisor con el fin de que lo envíe nuevamente. La retransmisión de los paquetes se realiza en forma selectiva. Para el manejo de errores se utiliza el método regresar a n.

El protocolo XTP le permite al usuario definir los tipos de servicios, dentro de una amplia variedad de opciones que mejor se ajusten a sus aplicaciones. Soporta también prioridades en las comunicaciones.

7.7 Análisis comparativo de Protocolos

Una cantidad importante del tiempo consumido en la capa de transporte se dedica a la computación de los parámetros de control. TCP puede soportar redes de alta velocidad si se implementa en forma apropiada. Sin embargo, la administración de la conexión de triple acuerdo que utiliza TCP no es adecuada para algunas aplicaciones de las redes de banda ancha, en especial cuando el tiempo total de la transmisión de los datos es menor que el tiempo requerido para establecer y terminar la conexión. Otro problema con TCP es la posibilidad de aceptar paquetes duplicados de alguna de las conexiones.[19]

El protocolo Delta-T fue diseñado para ser usado en ambientes LAN. Al igual que en el protocolo TCP, existe la posibilidad de aceptar paquetes duplicados. El establecimiento y terminación de la conexión implícitos en Delta-T, minimiza el tiempo utilizado en la administración de la conexión. En el caso de XTP, el uso de un esquema implícito permite un establecimiento rápido de la conexión, pero tiene el inconveniente de poder saturar el receptor debido a que se desconoce con anticipación la cantidad de recursos disponibles. Otro problema, es que la segmentación efectuada por XTP consume importantes recursos, ya que es necesario calcular el CRC para cada paquete.

La administración de la conexión en Datakit está basada en acuerdos que se llevan a cabo fuera de banda. Sin embargo, la inclusión de información de establecimiento de la llamada en el protocolo de transporte complica su implementación. Datakit depende de la entrega en secuencia de los paquetes por parte de la red, función que soporta ATM, lo que elimina la posibilidad de aceptar paquetes duplicados. En Datakit, los datos no se paquetizan, reduciendo de esta forma el tiempo de procesamiento.

En VMTP, la tasa de transmisión fijada inicialmente permanece constante para el primer bloque a ser transmitido y es posible que le receptor no sea capaz de procesar los datos a esta velocidad de transmisión. VMTP también fue diseñado para ser usado en LAN's.

En la tabla 7.1 se describen las características más importantes de los protocolos mencionados anteriormente.

PROTOCOLO	SEÑALIZACION	ESTABLECIMIENTO DE LA CONEXION	TERMINACION DE LA CONEXION	PARAMETROS DE LA CONEXION
Datakit	Fuera de Banda	Acuerdo Doble	Acuerdo Doble	E, A, M
Delta-T	Dentro de Banda	Implícito	Basado en Timer	A
NETBLT	Dentro de Banda	Acuerdo Doble	Acuerdo Doble	E, A
TP4	Dentro de Banda	Acuerdo Triple	Acuerdo Doble	E, A
TCP	Dentro de Banda	Acuerdo Triple	Acuerdo Triple	E, A
VMTP	Dentro de Banda	Implícito	Implícito	E, A, M
XTP	Dentro de Banda	Implícito	Triple Acuerdo	E, A, M

Simbología: E = Establecimiento de la llamada; A = Actualización; M = Modo de Selección.

PROTOCOLO	MULTIPLEXACION	CONTROL DE FLUJO	TECNICAS DE CONTROL DE FLUJO
Datakit	NO	Extremo a Extremo	Ventana Adaptativa
Delta-T	SI	Extremo a Extremo	Ventana Adaptativa
NETBLT	SI	Extremo a Extremo	Ventana Acumulativa o Control de Velocidad de Transmisión
TP4	SI	Extremo a Extremo	Ventana Adaptativa
TCP	SI	Extremo a Extremo o Control de Acceso Implícito	Ventana Adaptativa
VMTP	SI	Control de Acceso Implícito	Control de Velocidad de Transmisión
XTP	SI	Control de Acceso Implícito	Ventana Adaptativa o Control de Velocidad de Transmisión

PROTOCOLO	ESQUEMA DE MENSAJES DE RECONOCIMIENTO	REPORTE DE ERRORES	MANEJO DE ERRORES
Datakit	Solicitado Explícitamente por el Transmisor	NACK	Regresar a n
Delta-T	Dependiente del Transmisor	NACK	Regresar a n
NETBLT	Dependiente del Transmisor	Rechazo Selectivo	SR
TP4	Independiente del Transmisor	No Disponible	PAR
TCP	Dependiente del Transmisor	No Disponible	PAR
VMTP	Dependiente del Transmisor	Rechazo Selectivo	SR
XTP	Solicitado Explícitamente por el Transmisor	Rechazo Selectivo	SR, Regresar a n

Tabla 7.1 Resumen comparativo de protocolos de transporte viables para ser usados en las redes de banda ancha.

7.8 Puntos de referencia para los futuros protocolos de transporte

La ISO inició un nuevo proyecto llamado Funciones de Comunicación Mejoradas y Facilidades para las Capas Inferiores del Modelo OSI, cuyo objetivo es el desarrollo de nuevos protocolos para las redes de alta velocidad. Dentro de las mejoras consideradas inicialmente se encuentran las siguientes:

- Altas Capacidades de Transmisión.

- Operaciones Simultáneas.

- Procedimientos seleccionables de control de errores.

- Selección de calidad de servicio y administración.

- Señalización y sincronización fuera de banda.

- Operación eficiente.

Este proyecto, conocido como Protocolo de Transporte de Alta Velocidad (HSTP), posiblemente tomará varios años para su finalización. Probablemente el proyecto no estandarizará ninguno de los protocolos mencionados en los puntos 7.5 y 7.6. El marco de referencia para el desarrollo del protocolo de transporte de las redes de alta velocidad, servirá para medir el desempeño de los protocolos de transporte existentes y de los que serán desarrollados en el futuro.[20]

En las redes de alta velocidad, al igual que en las de baja velocidad, se requiere del intercambio de mensajes de control para garantizar la transferencia confiable de datos de extremo a extremo de la conexión. Se requiere asimismo de mecanismos de control de flujo de extremo a extremo. En las redes de alta velocidad, el esquema regresar a n no es tan efectivo como en las redes de baja velocidad, ya que cuando el transmisor detecta que se perdió un paquete, la cantidad de datos transmitidos desde la pérdida del paquete puede ser demasiado grande, lo que ocasionará un considerable desperdicio de ancho de banda durante la retransmisión. La retransmisión selectiva puede solucionar este problema, pero tiene el inconveniente de complicar el diseño del receptor ya que requiere de espacios de almacenamiento grandes y de mayores tiempos de procesamiento.

Considerando las altas velocidades de transmisión, partes del protocolo de las redes ATM deben de ser lo suficientemente simples para ser implementadas principalmente en hardware, ya que sus tiempo de respuesta son mucho mayores en comparación con las implementaciones en software. Otra factor en favor de construir en hardware la mayor parte

posible de las funciones del protocolo, es el ahorro en espacios de memoria y en reducción de la complejidad de los equipos terminales.

7.9 Conclusiones

A pesar de los avances logrados en el desarrollo del protocolo de transporte para la B-ISDN, no se espera que esté completamente definido a corto plazo. Esto no es necesariamente un problema para la introducción de las redes ATM, ya que su uso inmediato se enfoca hacia el soporte de servicios existentes. Por este motivo, los esfuerzos se encaminan a cómo soportar protocolos existentes, como IP, Frame Relay y SMDS entre otros.

Es indudable que en el protocolo de transporte que se estandarice para la tecnología usará la señalización fuera de banda por las ventajas que ofrece, como por ejemplo la reducción de los tiempos de procesamiento, el hacer más simple el diseño e implementación del protocolo y la incorporación de servicios adicionales como seguridad y facturación. Con este método de señalización la negociación de parámetros es más flexible y eficiente. Cabe señalar que por las bondades que ofrece este tipo de señalización, las compañías telefónicas a nivel mundial la están implementando por medio del mecanismo llamado Señalización por Canal Común Número 7 (SCC-7).

Por lo que concierne al control de flujo, como se indicó en el capítulo 6, los grupos encargados de la estandarización de la tecnología del modo de transferencia asíncrono favorecen la aplicación de los mecanismos de control adaptativo de la velocidad de transmisión. Esta tendencia fue reforzada por la aparición de una nueva variante de servicios llamada Servicios con Tasa de Transmisión Disponible (AVR), que utilizan cualquier ancho de banda disponible y que pueden regularse, sin detener su transmisión totalmente, en casos de congestiones.

Con respecto al manejo de errores, la solución más apropiada parece ser una combinación dinámica de los métodos go-back-n y repetición selectiva, tomando como base las características de los errores que aparezcan durante la duración de la conexión. Si la tasa de transmisión no es muy elevada puede ser conveniente usar el método go-back-n, ya que el desperdicio de ancho de banda como consecuencia de la retransmisión de un bloque de paquetes será relativamente pequeño. A medida que evoluciona la tecnología se incrementa la

velocidad de procesamiento y capacidades de almacenamiento de los nodos terminales, lo que permitirá en el futuro implementar más eficientemente el mecanismo de repetición selectiva.

En diversas partes del mundo continúa la investigación y evaluación de los protocolos de transporte que servirán como base para la estandarización del que utilizarán las futuras redes ATM. El ATM Forum y la ITU se encuentran trabajando a marchas forzadas con el fin de estandarizar este y otros puntos que aún están pendientes mismos que restringen el acceso masivo a esta tecnología emergente.

En el siguiente capítulo se describe los principios de funcionamiento y las arquitecturas de conmutación ATM. Se han propuestos varios sistemas de conmutación ATM, pero aún no existe un consenso sobre cual es el más adecuado y continúa la investigación para mejorar los existentes y estandarizar uno que cumpla con bajos retardos, variaciones mínimas en retardo, capacidad para soportar diferentes tipos de tráfico y que sea totalmente compatible con el fin de lograr la tan ansiada interoperabilidad.

CAPITULO 8

CONMUTACION ATM

8.1 Introducción

Las redes ATM son redes de conmutación de paquetes orientadas a conexión, en donde cada celda ATM se transmite en forma independiente. Uno de sus elementos más importantes son los nodos de conmutación cuya función primordial es transportar celdas de los enlaces entrantes a los enlaces salientes. Para realizar esta tarea, los conmutadores ATM utilizan la información de enrutamiento contenida en el encabezado de cada celda y la información que fue almacenada dentro de ellos por el procedimiento de establecimiento de llamada.

Las actividades más importantes que realiza el procedimiento de establecimiento de la conexión en cada nodo de conmutación son las siguientes:

- Para cada conexión definir un identificador de conexión único en los enlaces entrantes, así como el identificador del enlace y un identificador de conexión único para los enlaces de salida. Estos identificadores dan la combinación VPI/VCI que definen plenamente la trayectoria que debe seguir cada celda ATM.

- Establecer tablas de ruteo en cada nodo de conmutación para relacionar los enlaces de entrada con los enlaces de salida para cada conexión.

El primer paso en el establecimiento de las conexiones de extremo a extremo, es determinar la ruta entre la fuente y el destino. Una vez que se efectúa este procedimiento, se conoce la secuencia de los enlaces y sus respectivos identificadores que usará la conexión.[20]

Dos factores muy importantes influyen en la implementación de la arquitectura de conmutación de las redes ATM de banda ancha:

- La alta velocidad a la que tienen que operar los nodos de conmutación.

- El comportamiento estadístico de las cadenas de celdas ATM al pasar a través de los sistemas de conmutación ATM.

Para el establecimiento de arquitecturas de conmutación ATM, se debe considerar el tamaño de las celdas ATM, que es pequeño y fijo, y el hecho que sus encabezados tenga una funcionalidad limitada. A la fecha se ha descrito un gran número de alternativas para los sistemas de conmutación, algunas de ellas están disponibles en el mercado y otras se encuentran en fases de implementación. Sin embargo, es importante señalar que aún no se ha estandarizado la arquitectura bajo la cual se tendrá que regir la construcción de los conmutadores ATM.

En la actualidad se cuenta en el mercado con una gran variedad de nodos de conmutación ATM, estos sistemas comerciales varían en tamaño desde 4 hasta miles de entradas y salidas. A los sistemas de conmutación públicos se les llama generalmente centrales ATM y a los privados LAN ATM.[9]

Las arquitecturas de conmutación ATM están compuestas por dos partes principales, la parte de transporte y la parte de control:

- Parte de transporte.- A esta parte también se le conoce como red de transporte y se define como todos los medios físicos que son responsables del transporte correcto de la información, de acuerdo a las especificaciones de calidad de servicio de ATM, desde un puerto de entrada ATM hasta el puerto de salida correspondiente. Esta red realiza funciones localizadas en el plano de usuario del modelo de referencia del protocolo.

Los parámetros típicos de calidad de servicio para la red de transporte son la proporción de celdas perdidas, proporción de bits erróneos, retraso promedio de las celdas y variación máxima de este retraso.

- Parte de control.- Esta parte de la arquitectura controla a la red de transporte. Decide la conexión de los puertos de entrada con los de salida en base a la información de señalización que se recibe en el conmutador. Las funciones de la red de control se localizan en el plano de control del modelo de referencia del protocolo. Los parámetros de calidad del servicio están relacionados con la señalización como por ejemplo, los tiempos de establecimiento y liberación de la llamada.

Como se mencionó anteriormente, la función primaria de los conmutadores ATM es transportar las celdas de un puerto de entrada a uno de salida. Esta tarea de conmutación también se puede combinar con concentración, expansión, multiplexión y demultiplexión del tráfico ATM.

En ATM, cuando se utiliza el término multiplexión se enfatiza la mezcla estadística de diferentes flujos de información ATM en uno solo. Cuando se emplea la palabra concentración, se hace referencia a la reducción del número de puertos de entrada hacia un menor número de puertos de salida. La expansión y la demultiplexión son operaciones inversas a la concentración y la multiplexión, respectivamente.

El envío de las celdas ATM al puerto de salida adecuado implica las actividades de enrutamiento, encolamiento y modificación de encabezados. Las diferencias entre las soluciones de conmutación propuestas a la fecha radican en la forma y en el lugar donde se implementan estas funciones dentro del nodo de conmutación.

En las redes ATM se debe contar con diferentes tipos de conexiones, ya que su uso depende del tipo de servicio que se está proporcionando. Por ejemplo, un servicio de voz se puede dar entre dos puntos finales, mientras que para una teleconferencia participan más de dos nodos terminales. En general, se pueden definir cuatro tipos de conexiones:

- Conexiones punto a punto.- En este caso, la conexión se establece entre dos entidades. La mayoría de los servicios caen dentro de esta categoría.

- Conexiones punto-multipunto.- Las cadenas de celdas generadas por el nodo fuente se distribuye a dos o más nodos.

- Conexiones multipunto-punto.- La información generada por más de un nodo se transmite a un solo nodo. Este tipo de conexión se utiliza cuando se concentra la información generada de varios sitios en uno solo, como ocurre con las redes bancarias por ejemplo.

- Conexiones multipunto-multipunto.- Se utiliza en grupos de usuarios en donde más de uno de ellos puede generar tráfico simultáneamente para ser distribuido a todos los integrantes del grupo. Una aplicación típica de este tipo de conexión es la teleconferencia.

Para las redes ATM se deben de diseñar nodos de conmutación capaces de manejar varios cientos de millones de celdas por segundo y deben de soportar diferentes tipos de requerimientos de conexiones de las diversas aplicaciones.

Los sistemas de conmutación para las redes ATM propuestos a la fecha se pueden clasificar en las siguientes tres categorías:

- Arquitectura con medio compartido.

- Arquitectura con memoria compartida.

- Arquitectura con división espacial.

8.2 Arquitecturas de conmutación con medio compartido

En una arquitectura de conmutación con medio compartido, las celdas que arriban se multiplexan en un medio común, típicamente un bus o un anillo. La velocidad del medio generalmente es mayor o igual a la suma de las tasas de transmisión de los enlaces entrantes conectados al multiplexor. Un pequeño buffer de entrada tipo FIFO (primero en entrar es el primero en salir) es suficiente para almacenar las celdas que arriban hasta que éstas puedan accesar el medio. En este tipo de arquitectura no existe la posibilidad de que ocurran contenciones a la salida ya que no pueden arribar dos o más celdas simultáneamente al mismo puerto. Sin embargo, la tasa de llegada de celdas a un enlace de salida en particular puede exceder el ancho de banda del enlace durante un corto periodo de tiempo, para estos casos se utilizan los buffers de salida cuya función es almacenar las celdas que llegan a una velocidad mayor de la que pueden ser servidas.

Las arquitecturas de medio compartido soportan difusiones (multicast) y tienen un buen desempeño cuando la velocidad del medio es mayor o igual que la suma de las tasas de transmisión de los enlaces de transmisión conectados. A medida que se incrementa el número de enlaces se debe aumentar la velocidad de transmisión en el medio compartido, lo que puede ocasionar en casos extremos que el factor velocidad de transmisión se convierta en un cuello de botella. De lo anterior se concluye que este tipo de arquitecturas no son adecuadas para necesidades de crecimientos futuros y que pueden soportar únicamente un número relativamente pequeño de puertos.

A continuación se describen tres ejemplos de arquitecturas de conmutación con medio compartido.

8.2.1 Conmutador ATM modular con buffer de salida

El conmutador ATM modular con buffer de salida (ATOM), fue desarrollado por NEC. El elemento de conmutación conocido como microcircuito ATOM, consiste de un bus y uno o más buffers de salida. El número de enlaces que se pueden conectar al microcircuito está limitado por la velocidad del bus. Esta arquitectura puede ser escalable mediante la interconexión de varios microcircuitos a través de enlaces seriales.

Dentro del sistema de conmutación se establece un circuito virtual para cada conexión ATM y en cada microcircuito ATOM, a lo largo del enlace, se definen las tablas de enrutamiento. De esta forma, el sistema de conmutación se convierte en una red de circuitos virtuales dentro de los cuales se enrutan las celdas de acuerdo a los identificadores de los VC encapsulados en cada una de ellas.

8.2.2 Sistema integrado de enrutamiento paquetizado automático

El sistema integrado de enrutamiento paquetizado automático (PARIS), es un sistema experimental de conmutación de paquetes a alta velocidad diseñado para transportar voz, video y datos en forma de paquetes. Originalmente fue diseñado para manejar paquetes de tamaño variable, pero es capaz de soportar celdas ATM sin overhead extra.

El conmutador es un bus con un ancho de banda mayor que la suma de los anchos de banda de los enlaces entrantes que tiene conectados. Se utilizan buffers a la entrada y a la salida con el fin de evitar congestiones en el conmutador. Cada buffer de entrada se atiende de manera cíclica para que pueda accesar al bus.

Los buffers de salida se dimensionan de forma que la probabilidad de pérdida de los paquetes debida a congestiones momentáneas, sea menor que la indicada por los parámetros de calidad del servicio.

8.2.3 Conmutación de paquetes síncrona compuesta

La arquitectura de conmutación de paquetes síncrona compuesta (SCPS), fue propuesta para circuitos integrados y para funciones de conmutación de paquetes. Este sistema está compuesto de módulos de conmutación interconectados por medio de varios anillos.

Cada modulo de conmutación tiene interfases externas a los circuitos y a las lineas de conmutación de paquetes e internamente a todos los anillos que llevan a cabo las funciones de conmutación. En cada paquete se encapsula un encabezado y una cola SCPS para identificar el puerto de salida. El acceso al anillo se basa en multiplexión por división de tiempo.

8.3 Arquitecturas con memoria compartida

En las arquitecturas de conmutación con memoria compartida se cuenta con un modulo de memoria que es compartido por todos los puertos de entrada y de salida. Las celdas entrantes se multiplexan en una sola cadena, que se almacena en la memoria compartida. La memoria se organiza en colas lógicas, una para cada puerto de salida. Las celdas se multiplexan en una sola cadena, se procesan, se demultiplexan y se transmiten a las líneas de salida. En este sistema el principal cuello de botella es el tiempo de acceso a la memoria para soportar el tráfico entrante y saliente.

La memoria se puede organizar lógicamente para ser completamente compartida o se puede fragmentar. En el primer caso la memoria se comparte entre todos los puertos de salida y las celdas se descartarán únicamente en caso de que los espacios en memoria estén totalmente saturados. En la organización lógica de fragmentación de memoria se impone un límite máximo de celdas en las colas de espera de cada puerto de salida, las celdas se descartarán cuando el límite máximo sea rebasado en alguna de las colas de espera de un determinado puerto de salida, a pesar de que se cuente con espacio suficiente en memoria.

La memoria se utiliza de manera más eficiente cuando ésta se comparte entre todos los puertos de salida, además de que se reduce la probabilidad de pérdida de celdas. Sin embargo, este esquema no es muy confiable cuando se recibe una ráfaga de celdas en un determinado puerto de salida, ya que se reduce el espacio disponible de memoria y puede llegar a causar degradaciones en el servicio de los demás puertos de salida.

El ejemplo más conocido de un elemento de conmutación con memoria compartida se utilizó en el experimento Preludio. La memoria común se puede organizar de forma que provea buffers lógicos en las entradas y en las salidas. En el proyecto 1012 de la red ATM europea RACE, se usa el conmutador Sigma que se basa en la estructura de memoria compartida con buffers lógicos en las salidas.[12]

8.3.1 Conmutación Preludio

En conmutador preludio fue desarrollado por el CNET (Centro Nacional Francés de Estudios de Telecomunicaciones). En este conmutador cada paquete tiene un tamaño de 15 bytes más 1 byte de encabezado. El número de puertos de entrada y de salida es igual al número de bytes en el paquete. Con el fin de alcanzar altas velocidades de memoria, se utilizan 16 módulos de memoria para almacenar cada byte del paquete en módulos diferentes.

Cada celda que arriba pasa por una fase de alineamiento para sincronizarla con el reloj central, posteriormente se envían a un conmutador con división espacial rotativa. El ciclo rotativo se sincroniza con los paquetes que arriban de forma que el encabezado de cada paquete termine en la salida del conmutador y que los subsecuentes 15 bytes se conmuten secuencialmente a las 15 restantes lineas de salida.

El controlador procesa los encabezados para determinar los enlaces de salida correspondientes y actualizarles su información. Después de que se ha procesado, el nuevo encabezado se almacena en una localidad libre en el primer banco de memoria y los demás bytes del mismo paquete se almacenan en otros bancos diagonalmente, incrementando los registros de dirección secuencialmente conforme se reciben los bytes. La dirección en donde se almacena el encabezado se coloca en la cola del enlace de salida correspondiente. En la salida, se realiza el proceso inverso para reensamblar y extraer las celdas.

8.3.2 Conmutador de Hitachi con buffer compartido

En este tipo de conmutador la memoria se comparte totalmente entre los puertos de salida. Las colas de salida se forman mediante el uso de listas ligadas. También soporta difusión haciendo copias múltiples de las celdas en la memoria compartida.

En esta arquitectura se cuenta con módulos que efectúan la conversión de datos de serial a paralelo. Un módulo de conversión de encabezado determina el enlace de salida

correspondiente a cada celda. Se tienen tres tipos de circuitos: el microcircuito de conmutación, que contiene la memoria, un multiplexor y un demultiplexor; el microcircuito de control, que contiene los registros de lectura y de escritura, un par para cada buffer; y buffers de dirección de entrada que contienen el estado de los espacios de memoria no utilizados.

Una vez que la celda pasa a la fase de conversión del encabezado, se accesa a un registro de dirección de escritura para obtener espacio en memoria, se almacena y la dirección de memoria se coloca en la cola del enlace de salida correspondiente. Los registros de lectura y el contenido de los espacios de memoria ociosos se actualizan constantemente. Con el fin de cumplir con los requerimientos de velocidad, se utilizan varios microcircuitos en paralelo.

8.4 Arquitecturas con división espacial

Los sistemas de conmutación con medio compartido y las arquitecturas con memoria compartida tienen dos desventajas muy significativas. Se requiere efectuar multiplexión en la entrada y demultiplexión a la salida del conmutador, restringiendo de esta forma su escalabilidad para soportar un número mayor de puertos. Por otra parte, las funciones de administración y control de los buffers se encuentran comúnmente centralizadas, lo que incrementa la complejidad del nodo de conmutación.

Por otra parte, en la conmutación con división espacial se pueden transferir concurrentemente varias celdas de diferentes puertos de entrada en múltiples enlaces. Cada transferencia requiere del establecimiento de una ruta física dedicada entre los enlaces de entrada y de salida dentro del conmutador. Esta arquitectura permite distribuir el control dentro del conmutador, lo que reduce su complejidad en el diseño.

La unidad básica en la conmutación con división espacial es el punto de cruce que puede ser habilitado o inhabilitado por una unidad de control. Cada punto de cruce tiene dos puertos de entrada y dos puertos de salida lo que permite la activación simultánea de dos rutas diferentes.

Pueden ocurrir contenciones a la salida de un punto de cruce cuando las dos lineas de entrada requieren simultáneamente ser conectadas a la misma linea de salida. Si se da este caso, se le garantiza el acceso al puerto se salida a una de las celdas, mientras que la otra será descartada o se almacenará temporalmente hasta que el puerto de salida esté libre nuevamente.

Si se utilizan buffers, se pueden colocar en los puertos de entrada o dentro del punto de cruce. Los buffers no solucionan completamente el problema de contención a la salida, ya que es posible que se saturen causando que las celdas se descarten por falta de espacio para almacenarlas.

En general en un conmutador con N entradas y N salidas, se tienen N^2 puntos de cruce. La principal desventaja de esta configuración, tipo matricial NxN, es que la complejidad del conmutador crece exponencialmente. Además, existe un único camino entre un puerto de entrada y uno de salida y la pérdida de algún punto de cruce significaría la desconexión entre los dos puertos involucrados.

AT&T desarrolló un conmutador con división espacial matricial y concentración conocido como Knockout. Este conmutador tiene N entradas y N salidas, cada una operando a la misma velocidad. Las celdas de longitud fija, como las ATM, arriban a los puertos de entrada a una frecuencia constante. El medio de transferencia está compuesto por N buses de difusión, uno para cada entrada.

En el conmutador Knockout comúnmente las celdas contienden por una misma salida en la interfase del bus, por lo que se requiere contar con buffers para almacenarlas. Si se tiene que garantizar cero celdas perdidas en la fase de transferencia de la celda al buffer, la memoria debe operar a N veces la velocidad de cada entrada. El conmutador Knockout reduce esta velocidad de operación por medio de una interfase inteligente al bus que funciona como un concentrador con una probabilidad nula de pérdida de celdas.

8.4.1 Redes Banyan

A diferencia de los conmutadores matriciales, las redes Banyan están basadas en topologías tipo árbol. Cada puerto de entrada es la raíz de un árbol con ramas a un número de elementos de conmutación intermedios. Un bosque compuesto por N árboles que comparten todos los enlaces y los elementos de conmutación, excepto las raíces, forma una red de conmutación Banyan NxN. Los árboles se pueden formar de diferentes maneras, lo que resulta en diferentes topologías.

Este tipo de redes son de enrutamiento propio ya que existe una ruta única que conecta un puerto de entrada con un puerto de salida. Las redes Banyan garantizan que todas las celdas lleguen a su destino. Dado que no se envían varias celdas a un mismo puerto de salida, estará

presente en cada uno de ellos una celda como máximo. Esta situación evita colisiones a la entrada de la red.

El número de puntos de cruce en las redes Banyan es menor que el que se tiene en las redes de estructura matricial. Internamente pueden ocurrir bloqueos cuando más de una celda intenta usar el mismo enlace entre dos etapas, esta situación puede causar degradación en la tasa de transmisión de celdas. Para reducir los efectos de los bloqueos internos se pueden utilizar buffers en los puertos de entrada dentro de la red o bien redes de clasificación (Batcher Sorting) inmediatamente antes del conmutador.

Una de las principales ventajas de las redes Banyan es su escalabilidad. Su estructura modular permite construir grandes redes a partir de pequeñas sin necesidad de modificar los algoritmos usados en su operación. Por otra parte, tienen la desventaja de no soportar difusión a menos que se utilice una red de copiado de celdas.

8.4.2 Arquitecturas con división espacial sin bloqueos

Es posible evitar los bloqueos internos en las arquitecturas de conmutación con división espacial sin necesidad de usar redes de clasificación, a expensas de perder la facultad de enrutamiento propio. Una conexión de un puerto de entrada a uno de salida se establece encontrando una ruta del elemento de conmutación de la primer etapa al elemento de conmutación de la última etapa. Dado que a partir de la segunda etapa generalmente existe más de una ruta para alcanzar las etapas finales, se puede conmutar la celda del puerto de entrada al puerto de salida donde no exista contención. Se requerirá por lo tanto que se establezcan conexiones de extremo a extremo para cada celda y tablas de traducción de direcciones.

8.4.3 Conmutador Batcher-Banyan

El conmutador Batcher-Banyan, propuesto por Bellcore, no presenta bloqueos internos debido al uso de una red de clasificación que efectúa esta tarea en base a la dirección destino de cada celda. Esta red que se conecta inmediatamente antes de la red de enrutamiento, utiliza buffers en los puertos de entrada. La operación de los conmutadores Batcher-Banyan se basa en el siguiente principio de reservación de ruta. Al inicio del ciclo, se pasa a través de la red de clasificación un pequeño paquete que contiene únicamente las direcciones fuente y destino. En los puertos de salida de la red de clasificación, se eliminan los paquetes con la misma dirección destino con el fin de evitar contenciones en las salidas. Los paquetes restantes se envían de

regreso a las colas de entrada. Sólo las colas de entrada que reciben los paquetes de regreso pueden transportar sus celdas a través del conmutador. Por lo tanto, se garantiza que estas celdas alcanzarán sus puertos destino sin ningún conflicto dentro del conmutador. Las celdas que no se envían dentro del primer ciclo, permanecerán en los buffers de entrada para ser enviadas en los ciclos posteriores. Dado que no existen contenciones dentro del conmutador, no se requieren buffers internos.

En esta arquitectura de conmutación, la ruta que se sigue a través de la red es no determinística y depende de la celda y de la dirección destino de las demás celdas presentes en las colas de entrada.

8.4.4 Banyan con compartimiento de carga

Esta arquitectura de conmutación está basada en una variante Banyan conocida como red Banyan con compartimiento de carga o enrutamiento alternativo, elimina la necesidad de buffers internos a expensas de mayor cableado entre los elementos de conmutación.

La red opera de manera similar a las redes Banyan. La diferencia más importante es el par de elementos de conmutación en cada etapa. Los enlaces que conectan a cada par de elementos de conmutación permiten el tráfico hacia los puertos de salida de otros elementos de conmutación en la misma etapa, incrementando de esta manera la probabilidad de encontrar un enlace de salida libre hacia la siguiente.

Las celdas deben de reservar una ruta para viajar a través del conmutador, esto se logra en una forma distribuida. En cada etapa, la unidad de interfase de salida de un elemento de conmutación que recibe una celda, envía un mensaje de acuerdo a la unidad de interfase de un puerto de entrada de un elemento de conmutación de la siguiente etapa, de esta forma las celdas viajan de una etapa a otra hasta su puerto de salida final. En caso de no existir una ruta disponible en alguna de las etapas, las celdas serán descartadas o almacenadas en los elementos de conmutación.

8.5 Otros sistemas de conmutación ATM

Aparte de los sistemas de conmutación ATM descritos anteriormente, se han desarrollado otros más, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

- Roxanne.- Este conmutador ATM fue propuesto por investigadores de Alcatel en 1990. Al elemento básico de conmutación se le llama elemento de conmutación integrado (ISE) y es un conmutador de memoria compartida. Cada puerto de entrada y de salida opera a una velocidad de 150 Mbps. Se logra la escalabilidad interconectando un número de elementos de conmutación en una configuración multietapas.

El ISE es capaz de enrutar una celda desde cualquier puerto de entrada hacia uno o varios puertos de salida, de acuerdo a los bits de enrutamiento en el encabezado de cada celda. Las celdas con información de usuario se envían a su destino empleando cualquier ruta que se encuentre disponible, mientras que las celdas con información de mantenimiento deberán seguir una ruta específica. La arquitectura ISE está basada en el principio de memoria compartida.

- Coprin.- El elemento de conmutación Coprin fue originalmente diseñado para un experimento en el que se mezclaron fuentes de datos, voz e imágenes. Fue diseñado y construido por el CNET y se empleó en el experimento preludio. Como se mencionó anteriormente, pertenece a la categoría de arquitectura de conmutación con memoria compartida. Se considera que el elemento de conmutación Coprin fue el primer sistema de conmutación ATM descrito en la literatura.

En el experimento, Coprin operaba con enlaces a 280 Mbps y celdas de 16 bytes de longitud, 15 de información y 1 de encabezado. El elemento básico consistía de una matriz cuadrada de 16x16 puertos. El enrutamiento en este conmutador se basa en la información del encabezado que posee cada celda ya que incluye un número de referencia preestablecido para cada conexión que se utiliza para determinar el puerto de salida de la celda. Una vez realizado esto, el conmutador modifica la información del encabezado para que pueda ser utilizada por el siguiente conmutador.

El conmutador Coprin consiste de cuatro partes principales: supermultiplexaje, memoria, demultiplexaje y control. En este conmutador las celdas son vistas como una cadena de información en paralelo y los encabezados de las celdas los maneja secuencialmente una unidad de control.

- Athena.- El principio de conmutación Athena fue descrito en 1987 por De Prycker, investigador de Alcatel. Cada elemento de conmutación ATM se realiza con un solo circuito impreso que contiene 16 puertos ATM de entrada y 16 de salida, cada uno operando a 600 Mbps.

Este elemento forma parte de un sistema de conmutación orientado a conexión, en el que se realiza traducción de datos del encabezado en cada nodo. La transferencia de la información que se recibe en las entradas hacia las colas de salida, se realiza por un medio de transferencia libre de posibles bloqueos. Esto significa que el medio debe de ser capaz de transportar 9.6 Gbps, que es la suma de las capacidades de los 16 puertos de entrada.

La arquitectura de conmutación es una red Banyan en donde cada elemento de conmutación es un conmutador con medio compartido y con buffers en los puertos de salida.

8.6 Situación actual

Actualmente existen diferentes sistemas de conmutación ATM en el mercado, tanto para el dominio privado (LAN's ATM) como para el dominio público. La mayoría de ellos tratan de compartir al máximo sus recursos internos para lograr reducir costos y lograr una mayor eficiencia.

En el diseño de los nodos de conmutación ATM se busca principalmente que tengan las siguientes características:

- Bajo retardo, que está determinado por el tiempo requerido para establecer la conexión virtual y transmitir las celdas entre las estaciones terminales. Este tiempo debe de ser mínimo y constante.

- Variaciones mínimas de retardo (jitter), que se refiere a las diferencias entre el tiempo de tránsito de una serie determinada de celdas.

- Capacidad para soportar diferentes tipos de tráfico.

- Interoperabilidad.

Debido principalmente a la carencia de estándares aún no se cuenta con aplicaciones que aprovechen totalmente las bondades de la tecnología ATM, como la señalización para el establecimiento de circuitos virtuales, notificación de control de flujo o parámetros de administración de tráfico, que nos pudieran indicar realmente que tan pequeño requiere ser el retardo y el jitter para poder cumplir adecuadamente con la calidad de servicio esperada.

La mayoría de los fabricantes de conmutadores ATM controlan el flujo restringiendo las tasas de transmisión permitida para cada aplicación. Sin embargo, a la fecha ninguno ofrece un control de tráfico efectivo de extremo a extremo.

Una forma en que los nodos de conmutación garantizan el ancho de banda para aplicaciones sensibles al retardo (CBR), es por medio de buffers dedicados o a través de bloques específicos de conexiones virtuales para este tipo de tráfico. Los servicios CBR se asignan automáticamente a las colas de salida con alta prioridad o a conexiones virtuales garantizadas con alta prioridad, mientras que el tráfico con tasas de transmisión variable (VBR) utiliza el ancho de banda residual.

En caso de congestiones, los conmutadores ATM deben de ser lo suficientemente inteligentes para no descartar totalmente el tráfico VBR con el fin de vaciar las colas de tráfico CBR.

Además de ser capaces de manejar las situaciones de congestión en la red, los conmutadores ATM deben de ser lo suficientemente versátiles para manejar tráfico de voz y datos sin degradar uno en favor del otro.

Es importante señalar que los conmutadores que cuentan con buffers muy grandes, con el fin de prevenir la pérdida de celdas, introducen retardos y jitter significativos que pueden afectar seriamente la calidad de los servicios de voz y video. Por el contrario, si los buffers son demasiado pequeños, se incrementa la pérdida potencial de celdas cuando el tráfico se incrementa. Los fabricantes deben lograr un equilibrio de forma tal que se reduzca el retardo y el jitter pero con buffers de tamaño adecuado que puedan manejar exitosamente las cargas extremas de tráfico. Aún no está claro que método de almacenamiento funcionará mejor, buffers a la entrada, a la salida o una combinación de ambos.

La mayoría de los fabricantes aún no han implementado en los conmutadores ATM que ofrecen la señalización UNI 3.1, el control de flujo basado en control adaptativo de la velocidad de transmisión y la emulación de redes de área local. La mayoría de los conmutadores que se ofrecen en el mercado cuentan con soluciones propietarias y algunos son adecuados únicamente para determinados tipos de aplicaciones.

En general los conmutadores ATM disponibles en el mercado utilizan cuatro mecanismos diferentes para garantizar que el tráfico sensible al retardo cuente con el ancho de banda requerido para garantizar que las celdas no sean descartadas:

- Buffers separados de almacenamiento de colas de tráfico de alta prioridad.

- Uso de parámetros de control para reservación de anchos de banda.

- Bits de prioridad de pérdida de celdas (CLP), para marcar el tráfico que puede ser descartado.

- Algoritmos propietarios para asignar anchos de banda a circuitos específicos.

Al contar con buffers separados de almacenamiento, el conmutador sistemáticamente coloca las celdas de tráfico de tasa de transmisión constante (CBR) en las colas de salida de alta prioridad y asigna al tráfico con tasas de transmisión variable (VBR), como ráfagas de datos o voz y video paquetizado, en las colas de baja prioridad. Esta técnica la implementan las compañías fabricantes Bay, Cisco, Fore y Lightstream. Por otra parte, Newbridge se basa en circuitos y no en buffers. los circuitos se seleccionan de manera que el tráfico de alta prioridad siempre cuente con circuitos disponibles, mientras que el tráfico de baja prioridad utiliza los circuitos restantes.

Con el fin de evitar que los circuitos virtuales utilicen más del ancho de banda disponible del que les corresponde, se usan algoritmos que detectan y descartan cualquier celda que sobrepase la tasa de transmisión previamente negociada. Con el bit CLP, que está contenido en el encabezado de la celda ATM, le indica al conmutador que el tráfico marcado con un CLP=1 debe de ser descartado primero. Cuando se fija a cero, como en el caso de celdas con tráfico CBR, indica que éstas nunca deben de ser descartadas.

En el mercado existen varios tipos de conmutadores ATM, algunos de los cuales cumplen con los requisitos de desempeño exigidos en las redes ATM. Por ejemplo, el conmutador Forerunner ASX-200 de Fore Systems Inc., ofrece altas velocidades de conmutación, administración del tráfico y buffers de entrada y salida con alta capacidad de almacenamiento. El retardo presentado en diferentes pruebas de evaluación del equipo mostró 10.57 microsegundos. En general, los conmutadores disponibles en el mercado cuentan con tiempos de retardo de aproximadamente un tercio del que presentan los conmutadores más

rápidos de Ethernet a 100 Mbps. El conmutador ATM 7000 de 3Com Corp. presenta retardo de 10.87 microsegundos mientras que el Gigaswitch de Digital Equipment Corp. muestra 11.75 microsegundos. Con la participación cada vez más intensa de la industria en el desarrollo de la tecnología ATM, se avanza rápidamente en las mejoras y estandarización de la misma.

En el capítulo 9 se analiza otro aspecto aún pendiente de estandarización, pero en el cual se tiene un significativo progreso, el enrutamiento en las redes ATM. Al haberse diseñado las redes ATM para transportar diferentes tipos de tráfico, el enrutameinto se debe efectuar de forma tal que satisfaga sus variados requerimientos de servicio, sin subutilizar los recursos de la red. Para las redes ATM, tanto públicas como privadas, se han propuesto diversos métodos de enrutamiento, mismos que se están utilizando como base para el desarrollo de otros que cumplan con los estándares de desempeño que exige la tecnología ATM.

CAPITULO 9

ENRUTAMIENTO EN LAS REDES ATM

9.1 Introducción

Generalmente en las redes de comunicaciones no existen enlaces directos entre los dispositivos terminales. Para que la información viaje del nodo fuente al nodo destino, es necesario que la red enrute el tráfico a través de los elementos que la componen. Una ruta en la red está integrada por una serie de enlaces que conectan dos dispositivos terminales. Comúnmente existe más de una ruta que conecta dos dispositivos cualquiera en la red. Al proceso de seleccionar una ruta dentro de la red se le conoce como función de enrutamiento. Las funciones de enrutamiento deben de ser confiables, robustas, simples, precisas y estables.

La red debe ser capaz de reaccionar a situaciones de congestión y a fallas en sus recursos sin afectar el servicio que provee al tráfico de usuario. Es preciso que esta reacción sea rápida con el fin de evitar inestabilidades en la red.

El criterio de desempeño a ser optimizado comúnmente depende del tipo de tráfico que se transporta. Este criterio puede ser la minimización del retardo promedio de extremo a extremo de la conexión o la maximización de la capacidad de transporte. Se debe garantizar una eficiencia global de la red y se deben satisfacer simultáneamente los requerimientos de calidad de servicio de cada una de las conexiones.

9.2 Enrutamiento en las redes actuales

En las redes actuales, entre las que se pueden mencionar TYMNET, TRANSPAC, ARPANET, SNA y DNA, se han implementado varias técnicas de enrutamiento. En estas redes los paquetes de datos se almacenan y procesan en cada nodo a lo largo de sus rutas a través de la red. Las velocidades de los enlaces se encuentran en el orden de varios Kbps. Con estos enlaces relativamente lentos, el uso eficiente del ancho de banda se convierte en el principal criterio de diseño.

En general los algoritmos de ruteo implementados en estas redes son variantes de algoritmos de ruta más corta cuya función es enrutar los paquetes desde la fuente hasta el destino a través de la ruta de menor costo. Su diferencia radica en el criterio de costo utilizado. Algunas redes usan costos fijos para cada uno de sus enlaces, mientras que otras emplean otros parámetros como la congestión, retardo y utilización de los enlaces, por ejemplo.

En las redes que utilizan circuitos virtuales la decisión de enrutamiento se efectúa en la fase de establecimiento de la conexión, con lo cual todos los paquetes que pertenezcan a ese circuito seguirán la misma trayectoria a través de la red. En algunas redes cada nodo tiene la responsabilidad de seleccionar un enlace de salida para los paquetes que recibe, a esta operación se le llama enrutamiento distribuido. Por otra parte, en el enrutamiento centralizado un nodo central se encarga de efectuar todas las decisiones de enrutamiento. Otra alternativa es el enrutamiento desde la fuente, en donde el nodo origen determina la trayectoria hasta el elemento destino.

9.3 Técnicas de enrutamiento en las redes ATM

En las redes de conmutación ATM, que son orientadas a conexión, se utilizan dos identificadores para enrutar las celdas, estos son el Identificador de Ruta Virtual (VPI) y el Identificador de Canal Virtual (VCI).

Los valores del encabezado, entre los que se encuentran el VPI y el VCI, se asignan en cada sección de la conexión durante toda la duración del enlace. Cuando se conmutan de una sección a otra, son automáticamente actualizados por los nodos de conmutación. La señalización y la información del usuario viajan en canales virtuales diferentes.

Las redes B-ISDN se rigen por el principio de señalización fuera de banda, que se basa en la establecida para la ISDN de 64 Kbps, en donde se utiliza el canal físico de señalización D. En la B-ISDN, la conceptualización del circuito virtual provee los medios para separar lógicamente los canales de señalización de los de usuario.

Se introdujo el concepto de rutas virtuales en las redes ATM con el fin de reducir el tamaño de las tablas de enrutamiento y la complejidad de las funciones de control de la red. Una ruta virtual es un enlace lógico directo entre dos nodos en la red conectados por medio de dos o más enlaces físicos secuenciales. Las celdas que pertenecen a diferentes canales se

conmutan utilizando el VPI común a lo largo de los nodos de la ruta virtual, con lo que se reduce el tamaño de las tablas de enrutamiento.

En las redes ATM se cuenta con dos niveles de conexión: conexiones de canal virtual y conexiones de ruta virtual. Conceptualmente, los dos tipos de conexiones difieren únicamente en el campo de enrutamiento utilizado en la conmutación de las celdas. De acuerdo a esta clasificación, existen dos tipos de conmutadores que se usan en las redes ATM: conmutadores de ruta virtual y conmutadores de ruta virtual/canal virtual.

En la conmutación de rutas virtuales, los circuitos virtuales multiplexados en rutas virtuales se conmutan de los enlaces de entrada a los enlaces de salida usando únicamente el campo VPI de los encabezados de las celdas. Los identificadores de circuitos virtuales de las conexiones pasan sin ser cambiados a través de los conmutadores VP y no tienen significado en el enrutamiento de las celdas entre los puertos.

Los conmutadores VP/VC tienen la capacidad de conmutar celdas utilizando los VPI's o el campo completo de enrutamiento, que incluye el VPI y el VCI. Las rutas virtuales definidas en las tablas de enrutamiento de este tipo de conmutadores se clasifican en dos clases: las que terminan en el conmutador en cuestión y las que no lo hacen. Para el último caso, los conmutadores son idénticos a los conmutadores VP, en ellos se procesan los campos VPI y VCI. El conmutador primero revisa el VPI para determinar si la ruta virtual termina o no en ese nodo. En caso negativo, cambia el valor del VPI para ser usado en el enlace de salida y la celda se conmuta al puerto correspondiente. Si la ruta virtual va a terminar, se usa el VCI para determinar los nuevos valores del VPI y del VCI a ser utilizados en el enlace de salida. Los dos campos se modifican para incluir los nuevos valores y la celda finalmente se conmuta a su puerto de salida.

Las rutas virtuales son conexiones semipermanentes en la red que conectan en forma lógica dos nodos terminales por medio de enlaces físicos secuenciales, tienen su propio ancho de banda de manera que pueden limitar el número de circuitos virtuales que pueden manejar y se multiplexan en los enlaces físicos. Con el esquema VP/VC se reduce el procesamiento en los nodos pero se incrementa el costo del enlace debido principalmente a la reducción de la eficiencia de transmisión por el overhead implícito. Esta característica es importante para las redes ATM ya que se espera que se reduzca el costo de los enlaces de transmisión al utilizar enlaces ópticos con alta capacidad de ancho de banda. Al usar las rutas virtuales se reduce el número de funciones necesarias para establecer las conexiones, ya que no se requiere el

procesamiento del establecimiento de la llamada en los nodos intermedios a menos que sea un punto terminal para la ruta virtual que utiliza la conexión. También se simplifican las funciones de control de la red ya que se efectúan para un grupo de conexiones en lugar de realizarlas para cada una de ellas.

Dentro de los inconveniente de las rutas virtuales se encuentra el overhead que introducen y el hecho de que las conexiones dentro de las rutas virtuales no son distinguibles. Un sobreflujo momentáneo de celdas en un circuito virtual puede causar la degradación del servicio que se proporciona a otras conexiones dentro de la misma ruta virtual. Se puede llegar a tener una ruta virtual totalmente saturada y otra con ancho de banda disponible. Esta situación puede ocasionar que se rechacen requerimientos de establecimiento de conexión a pesar de que se cuente con suficiente ancho de banda. Para lograr una utilización óptima de los recursos de la red, se requiere del desarrollo de medios eficientes para reasignar dinámicamente el ancho de banda de cada ruta virtual de acuerdo a los cambios en las condiciones de tráfico.

9.4 Funciones de enrutamiento

Las dos principales funciones de enrutamiento en las redes orientadas a conexión son el establecimiento de las rutas virtuales, en base a los requerimientos de la conexión, y el reenrutamiento de los circuitos virtuales de acuerdo a los cambios en las condiciones de operación de la red.

En el mensaje de establecimiento de la conexión se incluyen las direcciones de la fuente y del destino así como información suficiente del servicio requerido para calcular el ancho de banda necesario que satisfaga el grado de servicio solicitado por el usuario. El nodo de la red determina si existe una conexión de ruta virtual definida entre los nodos fuente y destino. En caso de contar con una ruta virtual con suficiente ancho de banda entre los dos usuarios, se tendrá muy poco procesamiento en los nodos intermedios. Si por el contrario no se cuenta con ella, será necesario establecerla por medio de un conjunto secuencial de rutas virtuales.

Las redes ATM se diseñaron para transportar varios tipos de tráfico con diferentes requerimientos de desempeño. Satisfacerlos simultáneamente sin subutilizar los recursos en una red integrada es una tarea muy compleja y hasta el momento no se ha encontrado un procedimiento para llevarla a cabo satisfactoriamente.

En los reenrutamientos de los circuitos y las rutas virtuales se consideran los cambios en las condiciones de operación de la red como ocurre en casos de congestiones y fallas en los nodos y enlaces. Para el mantenimiento de las rutas en las redes ATM se requiere de cambios dinámicos en la asignación de ancho de banda para los circuitos y las rutas virtuales, detecciones rápidas de fallas y reenrutamiento inmediato de rutas virtuales con componentes fuera de servicio. Se requiere asimismo de medios flexibles para agregar o eliminar rutas virtuales con el fin de ajustarse a la variabilidad del tráfico a través del tiempo.

9.5 Metodologías de enrutamiento

Para las redes ATM, tanto públicas como privadas, se han propuesto diferentes métodos de enrutamiento, entre los que se pueden mencionar:

- Enrutamiento de ruta más corta.

- Enrutamiento de ruta fija.

- Enrutamiento con saturación.

- Enrutamiento basado en autómatas de aprendizaje estocástico.

A continuación se describe brevemente cada uno de ellos.

9.5.1 Enrutamiento de ruta más corta

Los algoritmos de enrutamiento de ruta más corta transportan los paquetes de la fuente a su destino a través de la ruta con costo más bajo. La gran mayoría de los algoritmos de ruta más corta usados en las actuales redes públicas y comerciales son una variante de los algoritmos propuestos por Dijkstra y Ford/Fulkerson.

En este tipo de algoritmos, las decisiones llevadas a cabo en la red mantienen las tablas de enrutamiento que contienen la longitud de las rutas más cortas hacia varios destinos y hacia el siguiente nodo a lo largo de la ruta. Las rutas más cortas cambian dinámicamente de acuerdo a las condiciones de tráfico de la red. Los mensajes de actualización en la red se envían en

forma periódica o únicamente cuando ocurren cambios en la tabla de enrutamiento de algún nodo.

9.5.2 Enrutamiento de ruta fija

En el enrutamiento de ruta fija, se determina un conjunto de tablas de enrutamiento en un punto de control central y se distribuyen a cada nodo de la red. Para enlazar dos nodos terminales se tiene definida una sola ruta. Cuando ocurren cambios significantes en las condiciones de tráfico o en la topología de la red, el punto central de control calcula nuevas tablas de enrutamientos y actualiza las tablas de todos los nodos afectados por los cambios.

Estos algoritmos posiblemente no sean utilizados en las redes ATM debido a los cambios constantes en las características de tráfico de las variadas aplicaciones con requerimientos de ancho de banda significativamente diferentes.

9.5.3 Enrutamiento con saturación

Este tipo de enrutamiento es un procedimiento de establecimiento de llamada desarrollado para operar en redes de circuitos conmutados. Una vez que se recibe un requerimiento de una nueva conexión, un nodo difunde el requerimiento a todos sus nodos vecinos. Este proceso se repite hasta que se alcanza el nodo destino.

La principal ventaja de este método es su simplicidad, robustez, flexibilidad y confiabilidad dado que su desempeño no se ve afectado por los cambios en la topología. Garantiza que se encontrará una ruta del nodo fuente al nodo destino si por lo menos existe una. Por otra parte, su principal desventaja es la gran cantidad de mensajes de control que los nodos tienen que procesar y transmitir.

En caso de utilizar el enrutamiento por saturación en las redes ATM, los mensajes deben necesariamente incluir la cantidad de ancho de banda requerida por la conexión para evitar que se envíe el mensaje a los enlaces que no cuentan con capacidad suficiente.

9.5.4 Enrutamiento basado en autómatas de aprendizaje estocástico

En el enrutamiento adaptativo, la selección de la ruta del nodo fuente al nodo destino se realiza probabilísticamente. Las probabilidades asignadas a las rutas dependen del estado de la red, mismo que varía continuamente.

En este esquema, el nodo fuente asigna probabilidades a las rutas y elige probabilísticamente la ruta de menor costo. Las probabilidades de selección de las rutas se ajustan dinámicamente. Si la selección de una ruta resulta adecuada para el desempeño de la red, entonces la probabilidad de seleccionar esa ruta se puede incrementar. En caso de no ser favorable, su probabilidad de selección disminuirá.

Las ventajas de este tipo de enrutamiento radican en su simplicidad y en su operación descentralizada. En la práctica este esquema puede optimizar la operación global de la red. Su desventaja es la considerable cantidad de tiempo que tarda en alcanzar su estado de equilibrio y frecuentemente cuando lo logra, los cambios en la red son suficientes para que se reinicialize el proceso de búsqueda del estado de equilibrio.

9.6 Modos de enrutamiento

Se pretende que las redes ATM proporcionen conexiones tipo punto-multipunto y multipunto-multipunto. Este último tipo es necesario para las aplicaciones multimedia, que involucran la presencia de dos o más aplicaciones simultáneamente, como voz, datos, imágenes y video. Estas aplicaciones requieren en algunos casos la integración de combinaciones de diferentes tipos de servicios. Algunas de la aplicaciones multimedia que se espera que tengan una gran demanda son la teleconferencia, video de entretenimiento, imágenes médicas, anuncios y educación, entre otros.

Dentro de las características más importantes de las aplicaciones multimedia se encuentran las siguientes: existen requerimientos de sincronización entre varios tipos de información, existen restricciones de desempeño en los valores de retardo promedio de extremo a extremo, conocidos como latencia, y en las variaciones instantáneas de latencia conocidas como "jitter". Es importante señalar que en este tipo de servicios se involucra a un número de usuarios en dos modos de conexión: punto-multipunto y multipunto-multipunto.

Para establecer las conexiones eficientemente dentro de un grupo de usuarios se utilizan los árboles de difusión, que son un conjunto de enlaces de transmisión que alcanzan a todos los miembros del grupo. Los mensajes que entran al árbol, provenientes de uno de los usuarios del grupo, se enrutan y se copian en los nodos intermedios conforme se hace necesario para ser entregados a todos los miembros del grupo. Este esquema simplifica las funciones de control y de administración de la red.

Cuando se requiere establecer conexiones dentro de un grupo de nodos, la red primero determina la cantidad de ancho de banda requerida por cada miembro del grupo y después encuentra un conjunto de rutas que conecten a los usuarios.

9.7 Conclusiones

El estudio y desarrollo de los algoritmos que resuelvan efectivamente el problema de encontrar las rutas más adecuadas, en tiempo real, para aplicaciones multimedia aún se encuentra en proceso. Sin embargo, es necesario apresurar la investigación en esta área de la tecnología ATM ya que se espera que en el futuro cercano se tenga una gran demanda de redes que proporcionen servicios multimedia eficientes que estimulen el desarrollo de nuevas aplicaciones, mismas que impulsarán el mercado, confiabilidad y popularidad del modo de transferencia asíncrono.

Para que ATM alcance su flexibilidad potencial, es necesario que los circuitos virtuales conmutados (SVC) reemplacen a los circuitos virtuales permanentes (PVC) que actualmente se usan para crear redes ATM estáticas. Sin embargo, para que los SVC alcancen su potencial es necesario contar con un método de señalización estándar que permita a las terminales, servidores y nodos de conmutación especificar las tasas de transmisión y clases de servicio que requieren.

El ATM Forum, junto con la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), han estado trabajando en un protocolo estándar de señalización. Las especificaciones del ATM Forum, Interfase Usuario-Red (UNI) versiones 3.1 y 4.0, se basan en las recomendaciones Q.93B y Q.2931 de señalización de la ITU. Aún está pendiente la integración de éstos protocolos con las tecnologías propietarias de enrutamiento del ATM Forum, que incluyen emulación de LAN, la interfase privada red-red (PNNI) y la especificación todavía pendiente

para la capa tres de enrutamiento, Multiprotocolo sobre ATM (MPOA), que se espera tenerla funcionando plenamente a mediados de 1997.

La especificación PNNI define las capacidades de enrutamiento necesarias en una red que cuenta con múltiples nodos de conmutación para determinar la ruta de una conexión remota.

Se requiere trabajar intensamente con el fin de madurar y completar las especificaciones de señalización de los SVC. Las especificaciones se deben definir de manera que optimicen la consistencia e interoperabilidad sin eliminar la libertad de los fabricantes para implementarlas de diferentes formas, a pesar de la incertidumbre que se tiene en aspectos como los requerimientos de desempeño, cómo podría mejorar el desempeño un protocolo de señalización distribuido, cómo mantener a un mínimo los requerimientos de memoria en los puertos y cómo reducir los tiempos de establecimiento de los enlaces que integran los SVC.

Además del enrutamiento, la administración del tráfico y de los protocolos de transporte de las redes ATM, aún se encuentran pendientes de estandarización otros puntos, algunos de ellos contemplados desde la definición de esta tecnología y otros que han aparecido conforme se desarrolla la misma y se encuentran nuevas aplicaciones. Es siguiente capítulo tiene por objeto analizar el grado de estandarización alcanzado, aspectos pendientes y soluciones utilizadas en la actualidad.

CAPITULO 10

ESTANDARIZACION DE LA TECNOLOGIA ATM

10.1 Introducción

En 1990 la ITU dio a conocer un conjunto básico de estándares ATM en el que se incluían protocolos e interfases, mismos que fueron actualizados en 1992. En estas especificaciones se definía el tamaño de la celda ATM y su estructura, la interfase usuario-red (UNI), la capa física y las tasas de transmisión -155 Mbps o 622 Mbps- a las cuales se transportarían las celdas a través de enlaces SONET. La UNI establece estándares para conectar a los conmutadores ATM dispositivos de acceso como DSUs, ruteadores y tarjetas adaptadoras.

Una de las primeras tareas del ATM Forum, que se fundó a fines de 1991, fue desarrollar una versión mejorada de la especificación UNI emitida por la ITU. En junio de 1992, el ATM Forum publicó la versión UNI 2.0 que además de las interfases SONET definía interfases a 45 Mbps para enlaces DS-3 así como 100 y 155 Mbps para fibra óptica.

La UNI 2.0 incluía la Capa de Adaptación ATM tipo 5 (AAL-5), que fue desarrollada por usuarios y proveedores de equipo. A diferencia de las cuatro AAL definidas por la ITU, la AAL-5 ha tenido una mayor aceptación debido principalmente a que es más fácil de implementar. En la versión UNI 2.0 se definen únicamente circuitos permanentes, sin embargo en la UNI 3.0 si se soportan circuitos virtuales conmutados.[81]

El protocolo de señalización utilizado en la UNI es una variante de la especificación Q.93B de la ITU que define el establecimiento de llamadas para B-ISDN. La versión del ATM Forum es un protocolo más simple, pero a diferencia de Q.93B, soporta conexiones punto-multipunto. Esta función permitirá, por ejemplo, que los usuarios puedan difundir video a través de ATM.

Otra de las especificaciones publicadas por el ATM Forum es la RFC 1483 de la Fuerza de Tareas de Ingeniería Internet (IETF), que describe como encapsular los paquetes IP en celdas AAL-5. Por otra parte, la Interfase de Intercambio de Datos (DXI) detalla

específicamente como se segmentan los paquetes en celdas ATM. Por medio de la interfase DXI ATM se logra que los ruteadores transmitan los datos LAN en celdas que son reconocidas por los DSUs ATM.

La interfase DXI define dos modos de operación. Los dispositivos que trabajan en el modo 1 pueden manejar hasta 1,024 circuitos virtuales, soportan AAL-5 y usan verificadores de redundancia cíclica (CRC) de 16 bits, que limitan efectivamente a paquetes de hasta 8 Kbytes. Los dispositivos que operan en el modo 2 soportan todos los tipos de AAL, manejan hasta 16 millones de circuitos virtuales y utilizan CRCs de 32 bits que funcionan efectivamente con paquetes de hasta 64 Kbytes.

El subcomité de administración del tráfico del ATM Forum se encuentra trabajando en las especificaciones del control de flujo entre los dispositivos terminales y la red. En esencia, el grupo ha definido los parámetros para diferentes grados de servicios, relegando la tarea de especificar los valores a los prestadores del servicio ATM y a los proveedores de conmutadores ATM. Entre los parámetros se encuentran el retardo promedio, rangos permisibles de retardo, variaciones en el retardo y el porcentaje de celdas que se pueden perder en la red sin que se afecte significativamente la calidad del servicio.

A pesar del grado de estandarización alcanzado por la tecnología ATM, aún quedan pendientes varios puntos por definir entre los que se pueden mencionar el control de flujo entre los conmutadores ATM, la interoperabilidad en redes LAN ATM y la definición de calidades de servicio.[116] El ATM Forum ha designado varios grupos de trabajo en el desarrollo de especificaciones en las áreas de:

- Administración del tráfico.

- Señalización ATM.

- Interfase entre redes (PNNI).

- ATM sobre par torcido sin blindaje (UTP).

A continuación se describen los avances logrados en la estandarización de estas áreas.

10.2 Administración del tráfico

El ATM Forum ha definido cuatro clases diferentes de servicios para las redes ATM:

- Servicios con tasa de transmisión constante (CBR): Este servicio provee circuitos virtuales de transmisión con ancho de banda fijo y se utiliza para aplicaciones que necesitan que se les garantice un ancho de banda constante, como por ejemplo video en tiempo real, tráfico de voz y emulación de circuitos.

- Servicios con tasa de transmisión variable (VBR): Se utilizan para tráficos en ráfagas, como aplicaciones de procesamiento de transacciones e interconexiones de redes LAN. Estas aplicaciones pueden transmitir datos en ráfagas a altas velocidades siempre y cuando no se rebase una tasa de transmisión promedio previamente especificada.

- Servicios con tasa de transmisión no especificada (UBR): En este tipo de servicio las aplicaciones envían datos a través de la red ATM sin garantía de cuándo serán entregados o si llegarán a su destino. Esta categoría fue definida para aplicaciones que no trabajan en tiempo real como por ejemplo la transferencia de archivos y el correo electrónico.

- Servicios con tasa de transmisión disponible (ABR): Al igual que UBR, este tipo de servicio utiliza cualquier ancho de banda disponible y se usa en aplicaciones que no trabajan en tiempo real. Se evita la pérdida de datos con mecanismos implementados en la red que le indican al emisor que regule su velocidad de transmisión en caso de congestiones en la red . En ABR se debe garantizar un ancho de banda mínimo suficiente para continuar la ejecución de la aplicación.[103]

Para los servicios CBR, VBR y UBR no se requieren de mecanismos de control de congestión dentro de la red. Esto se debe a que los servicios CBR tienen asignado un ancho de banda fijo garantizado y la transmisión de datos se efectúa a velocidades constantes. Por otra parte, VBR y UBR no deben sobrepasar la velocidad de transmisión pico negociada durante el establecimiento de la conexión, ya que de lo contrario la red descartará el exceso de celdas. Sin embargo, con el servicio ABR se deben de implementar mecanismos de control de flujo que le indiquen al transmisor en que momento debe disminuir o incrementar su velocidad de envío dependiendo del ancho de banda disponible.

Durante 1994 y 1995 el Grupo de Trabajo de Administración del Tráfico del ATM Forum se ha enfocado al desarrollo de mecanismos de control de flujo para los servicios ABR. Dentro de los esquemas de control de tráfico viables de implementar se encontraban los basados en tasas de transmisión, basados en créditos o una combinación de ambos. En septiembre de 1994 por mayoría de votos el ATM Forum decidió adoptar controles de flujo para ambientes LAN y WAN basados en tasas de transmisión.

A pesar de que el control de flujo basado en créditos permite el desarrollo de tarjetas adaptadoras de red a bajo costo y proporciona un alto desempeño en ambientes LAN, también requiere de espacios de memoria excesivamente grandes (o algoritmos de almacenamiento sofisticados) para ambientes WAN. En este mecanismo, los nodos de conmutación y las terminales intercambian información acerca de los espacios de memoria disponibles en cada enlace de la red. Las estaciones transmisoras de servicios ABR sólo podrán enviar datos cuando se cuente con suficientes espacios de memoria.

Por otra parte, el control de flujo basado en tasas de transmisión provee de una solución más eficiente para ambientes WAN, lo que hace posible desarrollar nodos de conmutación WAN de alta capacidad a bajo costo. Este diseño además es muy flexible y permite una variedad de implementaciones. El control de flujo se logra por medio del envío de información de la red ATM al nodo terminal de usuario indicándole la velocidad a la cual debe transmitir. Cuando la red se congestiona se le informa a los nodos que transmiten servicios ABR que disminuyan su velocidad de envío. Cabe señalar que los mecanismos basados en créditos son de repuesta más rápida que los basados en tasas de transmisión, ya que éstos últimos notifican a las terminales que regulen su velocidad de transmisión una vez que la congestión ha ocurrido.

Finalmente la propuesta de integrar los dos esquemas fue descartada debido a que implicaba crear dos tipos de interfases ATM. Considerando que la tecnología ATM ofrece potencialmente la integración de los ambientes LAN y WAN, la creación de estas interfases representa un retroceso en su evolución. La interfase funcionaría como una fuente y un destino virtuales, conectando el sistema de control de flujo basado en créditos y utilizado en la LAN con el basado en tasas de transmisión usado para la WAN.[132]

Los esquemas de control de tráfico basados en tasas de transmisión son mecanismos de retroalimentación de extremo a extremo. En el enlace se cuenta con una estación fuente y una destino. En el diseño la terminal destino alerta a la estación transmisora con el fin de que disminuya su tasa de envío una vez que se ha iniciado la congestión. Si existen nodos de

conmutación ATM entre la fuente y el destino, éstos simplemente envían y complementan la información de control de flujo que viaja de un extremo a otro del enlace.

La información de control de flujo viaja en celdas ATM de administración que el transmisor envía. Una vez que son recibidas por el receptor, éste la retransmite con un indicador que muestra que la celda viaja de regreso hacia el transmisor. Durante el trayecto los nodos de conmutación intermedios marcan en la celda la tasa de transmisión en el circuito virtual. Cuando la celda llega a su destino final, llevará consigo el valor más bajo de la velocidad de envío experimentada en el circuito. El nodo transmisor utilizará este valor para sus transmisiones subsecuentes hasta que reciba una nueva celda de administración.

En las redes ATM el tráfico CBR y VBR, que tiene explícitos anchos de banda garantizados, no están sujetos a los mecanismos de control de flujo utilizados por los servicios ABR. De hecho el control de flujo se aplica al ancho de banda disponible no utilizado por CBR y VBR. La publicación por parte del ATM Forum del estándar definitivo para control de flujo depende de la terminación de las especificaciones de los servicios ABR. Actualmente los grupos de trabajo desarrollan un nuevo tipo de servicio conocido como ABR+ que además de contar con mecanismos de control de flujo basados en tasas de transmisión, garantizará un retardo máximo de las celdas.

ABR puede proveer de acceso rápido y confiable a grandes cantidades de ancho de banda. Con esto se hace realidad una de las ventajas más relevantes de la tecnología ATM: utilización de ancho de banda en base a demanda. Una implementación exitosa de los servicios ABR será aquella que proporcione al usuario altas y eficientes velocidades de transmisión de datos con bajos índices de pérdida de celdas, retardos mínimos, acceso rápido al ancho de banda disponible, asignación eficiente de estos anchos de banda y tasas mínimas garantizadas de transmisión de celdas.

10.3 Señalización ATM

Una de las principales ventajas de la tecnología del modo de transferencia asíncrona es la flexibilidad que le proporciona la utilización de los circuitos virtuales conmutados (SVC). Pero debido a que el estándar de señalización que permitirá establecer, mantener y terminar los SVC se encuentra en su etapa de desarrollo, las redes ATM actuales son estáticas ya que sus enlaces se crean por medio de circuitos virtuales permanentes (PCV). A través del método estándar de

señalización los nodos terminales, servidores y conmutadores conectados a la red ATM podrán especificar las tasas de transmisión y clases de servicios requeridos.

Los proveedores de equipo ATM han empezado a implementar en sus nodos de conmutación y adaptadores, sistemas de señalización basados en los estándares en desarrollo por parte del ATM Forum. La penetración en el mercado y las pruebas de interoperabilidad de estas implementaciones tomarán un tiempo aún no determinado.

Los estándares primarios de señalización del ATM Forum, de acuerdo a la versión UNI 3.1 y UNI 4.0 que aparecerá próximamente, se basan en la recomendación Q.93B de la ITU. Dentro de los trabajos pendientes se encuentran la integración de este protocolo con las tecnologías de enrutamiento propuestas por el Forum, incluyendo la emulación de LANs, la Interfase Privada Red-Red (PNNI) y la especificación multiprotocolo sobre ATM (MPOA), aún inconclusa, que se usará en la capa 3 de enrutamiento.

Para el registro de direcciones, necesario para el establecimiento de las conexiones, se usa el Protocolo Provisional de Interfase de Administración Local (ILMI) definido por el ATM Forum y que es una derivación del Protocolo Simple de Administración de la Red (SNMP). En el protocolo ILMI, el nodo de conmutación define un prefijo de red para cada estación terminal y lo envía a cada una de ellas por medio de un mensaje SNMP. La segunda parte de la dirección la define la misma estación terminal y la envía al conmutador través de un mensaje SNMP.

Este proceso de registro de direcciones provee a la red de los recursos necesarios para asociar automáticamente un circuito virtual con sus direcciones fuente y destino. Al conocer la red la localización de cada nodo terminal, puede configurar instantáneamente circuitos virtuales entre dos puntos cualquiera.

Para el establecimiento, mantenimiento y terminación de los SVC se requiere del intercambio de mensajes de señalización entre los nodos de conmutación y las estaciones terminales. Estos mensajes, que viajan en celdas ATM, se derivan de las especificaciones de señalización Q.93B y Q.2931 de la ITU.[147] Las celdas inician con un discriminador de protocolos de 8 bits que indica al conmutador que está recibiendo un mensaje de señalización y no una celda de información. Dentro de los mensajes más importantes se encuentran los siguientes:

- Solicitud de establecimiento de la llamada o Setup.- Lo envía la fuente a la red y la red hacia el nodo destino para establecer la conexión. Dentro de los elementos de información se encuentran la dirección destino, tasa de transmisión requerida y la calidad deseada de los parámetros de servicio.

- Proceso de llamada o Call Proceeding.- Este mensaje lo envía la estación destino a la red que a su vez lo retransmite hacia el nodo que solicita la conexión. Indica que se ha iniciado el establecimiento de la llamada y que no se acepta más información adicional relativa a las características del enlace.

- Conexión o Connect.- Lo transmite el nodo destino a la fuente con el fin de indicarle que el SVC se ha establecido.

- Reconocimiento de conexión o Connect Acknowledge.- Viaja de la fuente hacia el destino e informa que el transmisor y la red están enterados del establecimiento del enlace.

- Indagación de estado o Status Inquiry.- Puede ser transmitido por la fuente, el destino o un nodo ATM de conmutación durante el tiempo de funcionamiento del SVC. El dispositivo que lo reciba debe responder con un mensaje de estado de la conexión.

- Estado o Status.- Se transmite en respuesta a un Status Inquiry o en cualquier momento durante la duración de la llamada. Su objetivo es reportar condiciones de error.

- Liberación de la llamada o Release.- Puede enviarla la fuente o el destino solicitando la terminación de la conexión de extremo a extremo. También puede ser transmitido por un nodo de conmutación para indicar que la conexión se ha terminado y que el equipo receptor debe liberar el canal virtual que se utilizó para el establecimiento del SVC.

- Liberación Completa o Release Complete.- Lo envía ya sea el nodo fuente, destino o de conmutación para informar que el canal virtual fue liberado y que se puede reutilizar.

El protocolo de señalización indica la secuencia de intercambio de estos mensajes para llevar a cabo en forma rápida y eficiente el establecimiento de un SVC, que puede ser una conexión punto a punto o punto-multipunto.

En caso de que el nodo fuente no conozca la dirección ATM del destino, puede utilizar otro indicador, como por ejemplo la dirección IP de la capa 3 o la dirección Ethernet de la capa 2 que se verán como direcciones ATM por medio del servidor de rutas o del servidor emulador de LANs.

La señalización para la creación de los SVC es esencial para la operación efectiva de un ambiente ATM de emulación de LANs, ya que es prácticamente imposible que el administrador de la red pueda determinar todas las conexiones virtuales que se pueden requerir en una LAN.

El ATM Forum se encuentra actualmente trabajando en los estándares de señalización que permitirán utilizar de manera eficiente los SVC en las redes ATM. Uno de los grandes retos es definir las especificaciones de forma tal que sean consistentes y que permitan la interoperabilidad sin limitar la libertad de los proveedores para implementar el protocolo de señalización de diferentes maneras.

Uno de los aspectos aún pendientes de definición son los requerimientos de desempeño del protocolo de señalización. Por ejemplo, para la emulación de LANs, se requieren tiempos muy cortos para el establecimiento de los circuitos virtuales conmutados con el fin de prevenir el efecto de latencia en la red. Para los proveedores de equipo ATM esto representa implementaciones complejas, ya que entre más rápido opere el protocolo, se dispondrá de menos tiempo para negociar los detalles de la conexión.[85]

Los desarrolladores de los estándares de señalización están investigando también cómo mejoraría el desempeño al implementar el procedimiento de una manera distribuida y cómo mantener los requerimientos de memoria por puerto a un mínimo necesario con la finalidad de reducir costos.

10.4 Interfase Privada Red-Red (PNNI)

Debido a la velocidad de transmisión de las redes ATM y a sus características de calidad de servicio, los usuarios podrán ejecutar diversas y sofisticadas aplicaciones a través de grandes distancias mediante la utilización de extensas redes que contarán con nodos de conmutación de diversos fabricantes. Sin embargo, a la fecha no existe un método estándar que defina cómo se establecerán las conexiones entre conmutadores de diferentes proveedores. La mayoría de los conmutadores ATM en el mercado cuentan con mecanismos para el manejo de

enrutamientos y creación de circuitos virtuales conmutados, pero son soluciones propietarias que definen únicamente conexiones entre nodos de conmutación de la misma compañía fabricante.

El ATM Forum trabaja actualmente en el estándar que permitirá la interoperación de conmutadores ATM de diferentes distribuidores. Esta especificación, conocida como Interfase Privada Red-Red (PNNI), define las capacidades de enrutamiento necesarias para determinar conexiones remotas en una red ATM heterogénea. Por medio de este protocolo los usuarios podrán establecer SVCs entre los dispositivos ATM que cumplan con la norma PNNI.[150]

La versión PNNI 1.0 ofrecerá una solución escalable para la creación de enlaces virtuales en topologías de red complejas sin necesidad de que cada conmutador mantenga en memoria mapas detallados de toda la red. El comité PNNI ha terminado el diseño básico del estándar y se encuentra trabajando en los detalles de las comunicaciones entre nodos de conmutación, incluyendo el procesamiento de los SVCs, enrutamiento jerárquico y los formatos de los paquetes así como longitudes de campos en los cuales los conmutadores compartirán datos PNNI.

Para la creación de los SVCs, entre más información acerca de la red tenga el nodo de conmutación en memoria, más fácil será construir rutas óptimas entre la fuente y el destino. Debido a que las redes ATM crecerán hasta contar con cientos o miles de nodos de conmutación, cada uno de ellos soportando decenas de cientos de usuarios y dispositivos, se requerirá cada vez de más memoria y poder de procesamiento para soportar esta nueva información. Esta situación hace incosteable reproducir un mapa detallado de la topología ATM en cada conmutador.

La solución es un esquema que distribuya y resuma la topología de la red de forma tal que el dispositivo de conmutación cuente con información detallada acerca de su topología local e información resumida acerca de regiones distantes de la red. A este diseño se le conoce como topología jerárquica y lo utiliza la especificación PNNI junto con un esquema de direccionamiento similar al usado en las redes de telefonía.

Al dividir PNNI a las grandes redes ATM en pequeños subgrupos, los conmutadores pueden construir enlaces sin necesidad de almacenar en memoria mapas de la red. En base a la dirección más pequeña cada uno de estos subgrupos define a un nodo líder, los cuales formarán a su vez otro subgrupo en un nivel superior que contará con su propio líder. Estos nodos

sumarizan información acerca de los dispositivos que se pueden alcanzar dentro de su subgrupo y funcionan como medio de comunicación de información con los subgrupos de niveles superiores. En el nivel inferior de la jerarquía topológica, la información de enrutamiento corresponde simplemente a la lista de los dispositivos físicamente conectados al nodo de conmutación. Por otra parte, en el nivel superior de la jerarquía los nodos representan regiones sumarizadas de la topología. La información asociada a los nodos en este nivel consiste en un resumen de direcciones de los dispositivos dentro de los subgrupos de los niveles inferiores. Mediante el protocolo PNNI, los conmutadores de una red ATM automáticamente forman una jerarquía de subgrupos de acuerdo a las direcciones asignadas por el administrador de la red. También es posible designar previamente los nodos que serán líderes dentro de sus respectivos subgrupos e inclusive designar nodos líderes de respaldo en caso de fallas.

En las redes donde ya se han instalado protocolos propietarios de enrutamiento y de administración de conexiones, por ejemplo, pueden continuar usándolos una vez que se implemente el estándar PNNI. Estas redes propietarias se convierten en un subgrupo aparte dentro de la jerarquía PNNI, y se requiere que únicamente un nodo de conmutación dentro de ese subgrupo se comunique con el resto de la topología. De esta forma el subgrupo con protocolos propietarios será considerado por la red como un simple nodo.[79]

La información destinada a los nodos de conmutación y estaciones terminales dentro del segmento propietario se enrutará por medio del PNNI hacia el líder de este subgrupo. El hecho que se ejecute un conjunto de protocolos diferentes dentro de esa red es totalmente transparente a todos los demás nodos PNNI.

Dado que el estándar PNNI define la forma en que se establecen los circuitos virtuales conmutados entre los nodos de conmutación ATM, también debe garantizar que los enlaces mantengan la calidad de servicio requerido. El protocolo distribuye una gran variedad de parámetros que describen las habilidades y capacidades para diversos enlaces dentro de la red. Estos valores se usan para los objetivos de calidad de servicio para las diferentes clases de tráfico ofrecidas en las redes ATM. Cuando se inicia el procedimiento de construcción de un SVC los nodos, en bases a la información proporcionada por PNNI, eliminan las trayectorias que no cumplen con los requerimientos de ancho de banda y calidad de servicio solicitados. De esta forma el mecanismo de enrutamiento elige de entre las posibles rutas, la que ofrece mayores beneficios.

10.5 ATM sobre UTP

En las primeras fases de desarrollo de la tecnología ATM se consideraba que el medio de transmisión por excelencia sería la fibra óptica en la mayor parte de los cableados de las futuras redes de banda ancha. Sin embargo, debido a que la mayoría de las redes actuales cuentan con instalaciones de cable metálico, específicamente par torcido sin blindaje categoría 3, y a que los costos que implica su sustitución por fibra óptica son muy elevados, el ATM Forum estandarizó recientemente su uso para transmitir ATM a velocidades de 25 Mbps.[131]

Se encuentra también en propuesta de estandarización la transmisión de ATM a 155 Mbps sobre UTP 3, como también se le conoce al par torcido de hilos de cobre sin blindaje categoría 3. De acuerdo a las organizaciones que respaldan esta propuesta, será posible satisfacer los requerimientos de ancho de banda para videoconferencias y aplicaciones mutimedia, que muy pronto se utilizarán en las redes LAN, sin necesidad de reemplazar los cableados actuales por fibra óptica, ya que es posible utilizar SONET en cableados UTP 3. También argumentan que el recientemente aprobado estándar de transmisión de ATM a 25 Mbps, pronto será insuficiente por la creciente demanda de mayores velocidades de transmisión de las nuevas aplicaciones.

Los críticos de la idea dicen que ésta implica diversas dificultades técnicas, entre las más importantes se encuentran la atenuación de las señales de transmisión, interferencias y cruce de señales. También argumentan que las microcomputadoras comúnmente usadas en las redes locales, tendrán dificultades para recibir tráfico a 155 Mbps y que los adaptadores requerirán de grandes, y consecuentemente caras, memorias de almacenamiento.

Otro de los cuestionamientos es si en verdad se requiere actualmente de esta velocidad de transmisión. Para ellos, las interfases lógicas de velocidades ATM de 155 Mbps es en el backbone, donde UTP 5 y la fibra óptica son más comunes. Ellos consideran que un ancho de banda tan grande será subutilizado y que no es necesario aún en aplicaciones multimedia sensibles al retardo. En su lugar, sugieren, que ATM a 25 Mbps a través de UTP 3, que no requiere de ninguna tecnología especial, ofrece una solución efectiva y costeable para la utilización de la tecnología ATM.

10.6 Otros estándares en desarrollo

Otras de las áreas en las que trabaja el ATM Forum es en la administración de la red. Ha emitido una interfase de administración ATM provisional conocida como Interim Local Management Interfase (ILMI), basada en el estándar Protocolo Simple de Administración de la Red (SNMP). ILMI requiere que cada estación terminal cuente con la interfase usuario-red UNI 3.0 o que la red ATM implemente una entidad de administración UNI, conocida como UME. La UME funciona como un agente SNMP que mantiene información relativa a la red y a las conexiones en una base de información de administración.[48]

Uno de los protocolos en desarrollo es el Administrador de la Red del Usuario (CNM) que permitirá a los usuarios de las redes ATM públicas monitorear y administrar su porción de circuitos asignados por la compañía de telecomunicaciones. Por medio de la interfase CNM será posible monitorear puertos físicos, circuitos virtuales, rutas virtuales y parámetros de calidad de servicio entre otros.

Entre los estándares de mayor relevancia en desarrollo se encuentra el Multiprotocolo sobre ATM (MPOA) que define como se enruta el tráfico ATM de una red LAN virtual hacia otra. Este protocolo es clave en la realización de la emulación de redes de área local, transmisión de IP a través de ATM y la interoperabilidad de esquemas propietarios de redes LAN virtuales en un ambiente multiprotocolo.[64]

Dentro del campo de aspectos de servicios ATM en desarrollo se encuentran los Servicios Multimedia Audiovisuales (AMS), que especifican requerimientos de servicios y definen Interfases de Programas de Aplicaciones (APIs) para difusión de video, videoconferencia y tráfico multimedia. El grupo de trabajo de Aplicaciones y Aspectos de Servicios (SAA) del ATM Forum es el encargado de desarrollar este estándar. Es posible que se utilice la capa de adaptación ATM 2 (AAL 2), aún indefinida, para transmitir únicamente este tipo de servicios en los cuales predomina el video.[206]

El hecho que aún estén pendientes de estandarización diversos aspectos de la tecnología ATM, no ha impedido que a lo largo del mundo se construyan redes ATM, tanto locales como de área extendida, que en ocasiones son impresionantes por su cobertura, como por ejemplo la red Canarie de Canadá. En la construcción de estas redes se han utilizado soluciones propietarias para paliar el efecto de los estándares pendientes de definición. En algunas se ha

contado principalmente con el apoyo de instituciones gubernamentales y en menor grado con la participación de la industria como el caso de la red europea de banda ancha RACE. A diferencia de ésta, las redes desarrolladas en los Estados Unidos de Norteamérica han tenido una participación extraordinaria del sector privado y un importante respaldo gubernamental, quien considera que la construcción de este tipo de redes los fortalecerá aún más como nación.

En el siguiente capítulo se describen las principales redes ATM que se han construido o se encuentran en proceso de desarrollo a nivel mundial. Se analizan tanto redes de área local como redes de área extendida, las razones por las cuales se seleccionó la tecnología ATM, problemática encontrada durante su implementación, soluciones a la falta de estándares, beneficios esperados, grados de utilización y costos entre otros.

CAPITULO 11

PERSPECTIVAS PRACTICAS DE DESARROLLO DE ATM A NIVEL MUNDIAL

11.1 Introducción

ATM surgió como una respuesta a la necesidad de contar con un estándar a nivel mundial que permitiera el intercambio de información, independientemente de su naturaleza y del tipo de terminal. El objetivo de ATM es contar con un estándar único internacional. En los procesos de estandarización y desarrollo de la tecnología se tiene un nivel de aceptación sin precedentes por parte de la industria, ya que a diferencia de ISDN, ATM está fuertemente respaldado por las empresas internacionales y locales de telecomunicaciones, proveedores privados de redes de área local, empresas de desarrollo de software y principalmente por los usuarios finales. ATM es una tecnología emergente que evoluciona a través de un consenso internacional, y no únicamente por el punto de vista o estrategia de un proveedor.

Tradicionalmente han existido dos métodos distintos para la transmisión de información entre usuarios de las redes de área local (LAN) y las redes de área extendida (WAN). Esta situación incrementa la complejidad para la expansión de la conectividad de las redes locales a las metropolitanas, nacionales y finalmente a las mundiales. El método de comunicación ATM se puede utilizar como la base para las tecnologías LAN y WAN de forma tal que virtualmente sean una sola red, facilitando de esta manera la interconectividad a nivel mundial

Con los productos y servicios ATM existentes en la actualidad, el modo de transferencia asíncrono ha pasado de la etapa de concepto a la realidad. El Foro ATM ha realizado pruebas de interoperabilidad de esta tecnología y continúa organizando reuniones para discutir su evolución.

Actualmente ATM coexiste con las tecnologías LAN y WAN. Sus especificaciones se definen de forma que integren uniformemente los métodos existentes de transmisión de datos en las redes de computadoras, por ejemplo Frame Relay, Ethernet y TCP/IP. Con los equipos, servicios y aplicaciones ATM disponibles, la industria de las telecomunicaciones está convergiendo hacia esta tecnología.

11.2 Implementación de ATM en redes locales

Las redes de área local actuales pueden satisfacer los requerimientos de entrega de información en el rango de los 100 Mbps. Pero existen otros requerimientos de información, como la interconexión de supercomputadoras con terminales gráficas de alta resolución o la necesidad de contar con una columna vertebral o backbone[1] de alta velocidad con redes que demandan velocidades de transmisión del orden de los Gbps.

Un objetivo primordial del Foro ATM, es la definición de una LAN que sea utilizada como una red de alta velocidad o como backbone de otras redes de área local. Esta red conectaría directamente por un lado estaciones de usuario multimedia ATM por medio de una interfase nodo de usuario (UNI) privado, y por el otro se conectaría a la red pública ATM por medio de un UNI público.

A continuación se describen dos implementaciones de redes ATM, ambas en los Estados Unidos de Norteamérica. La primera de ellas se dio en la compañía Westinghouse Electric Corp. en la ciudad de Pittsburgh y la segunda en el Duke University Medical Center de la ciudad de Durham, N.C. Estas redes se consideran pioneras en la construcción de redes ATM y proporcionan importantes datos en términos de estrategias de introducción de esta tecnología.

11.2.1 Red ATM Westinghouse

En base a un estudio y evaluación de productos existentes en el mercado, la División de Tecnología Nuclear de la compañía Westinghouse decidió instalar una red ATM para satisfacer su necesidad de transmisión de datos a alta velocidad. Las aplicaciones de este departamento requerían intercambio masivo de archivos binarios, cada uno de 400 a 600 Mbytes. La transferencia de solo uno de ellos sobre la red Ethernet consumía toda la capacidad disponible de ancho de banda en 7 minutos.[102]

[1] En el esquema LAN, un backbone es un enlace de alta velocidad al cual las redes se conectan a través de puentes o ruteadores. En el esquema WAN, un backbone es el conjunto de enlaces de alta velocidad al que se conectan los nodos de la red. En general, un backbone se define como el núcleo de distribución de cualquier servicio.

Se consideró como alternativa instalar una red FDDI como solución a corto plazo y esperar a que se completaran los estándares ATM para su posterior introducción. Sin embargo, para minimizar los efectos de la carencia de estándares completos se decidió implementar la red ATM con conmutadores y adaptadores de un solo proveedor.

La instalación completa de la red ATM, con ayuda del proveedor de equipo ATM Fore System Inc., se llevó a cabo en tan solo dos días, no hubo pruebas piloto previas. La red cuenta con conmutadores y adaptadores Fore, 24 estaciones de trabajo RISC de Hewlett-Packard y Sun Microsystem Inc. La instalación ATM se enlaza a las redes convencionales de Westinghouse que incluyen cerca de 2,500 estaciones Ethernet y Token Ring.

Las estaciones de trabajo se enlazan a los conmutadores ATM, que están conectados entre si, en una topología tipo estrella. Westinghouse se decidió por este tipo de estructura debido a que entrega más capacidad a cada estación en comparación con otras topologías.

Una de las preocupaciones de la División de Tecnología Nuclear era la confiabilidad de la red, ya que sus procesos requieren tiempos de ejecución que van de 24 a 36 horas. En caso de fallas durante el proceso, la aplicación se debe reinicializar desde el principio.

A pesar de que la red ATM no ha tenido problemas importantes de funcionamiento, quedó fuera de servicio durante dos tormentas debido a fallas en el suministro de energía eléctrica. Los conmutadores no cuentan con suministro de energía redundante y Westinghouse no los equipó con protección contra fluctuaciones de corriente a la cual son muy sensibles. En la primera falla la red volvió a funcionar reinicializando el sistema, pero en la segunda ocasión fue necesario reemplazar un conmutador. Se tuvieron también algunos problemas en el software de enrutamiento, pero fueron corregidos por el proveedor.

Los administradores de la red concluyen de esta experiencia que los conmutadores ATM son menos problemáticos que los ruteadores y que el uso de los circuitos virtuales conmutados, en lugar de los circuitos permanente, hacen a la red más fácil de operar y de darle mantenimiento. Con los circuitos virtuales conmutados, se eligen las conexiones óptimas y se establecen en tiempo real al momento en que las estaciones de trabajo transmiten datos. Por el contrario, con los circuitos virtuales permanentes los administradores de la red tienen que definir y establecer con anticipación todos los enlaces.

Hasta la fecha no se han reportado errores o pérdida de celdas, aún en los periodos pico cuando se establecen y mantienen simultáneamente varios circuitos virtuales conmutados.

11.2.2 Red ATM Duke

Al igual que la compañía Westinghouse, el Centro Médico de la Universidad Duke instaló una red ATM para satisfacer sus necesidad de transmisión de datos a alta velocidad. En este caso, las aplicaciones de imágenes requeridas por el departamento de radiología sobrepasaban la capacidad de la red Ethernet instalada.

Debido a la necesidad de transferir simultáneamente de 10 a 100 imágenes de alta resolución, cada una de aproximadamente 10 Mbytes, se descartó la posibilidad de instalar un medio compartido como por ejemplo una red FDDI. Además, su interconexión a servicios de redes de área amplia es compleja. Por estos motivos se decidió instalar la red ATM, a pesar de que su costo fue de aproximadamente cinco veces más que el de una red FDDI.

A diferencia del proyecto de Westinghouse, la red ATM de la Universidad Duke tomó un año para completar su instalación, pero sus expectativas son mucho más amplias. El proyecto incluye un backbone ATM que conecta todas las LAN departamentales en el departamento de radiología. Además, el backbone se enlaza a un conmutador ATM manejado por el departamento de telecomunicaciones de la universidad que se conectará a la Superautopista de la información de Carolina del Norte (NCIH), misma que se encuentra en desarrollo. Como resultado, los consultorios médicos que se encuentren enlazados a la red ATM NCIH podrán obtener en cuestión de segundos imágenes de rayos X del departamento de radiología del Centro Médico de la Universidad Duke.

Esta red ha estado virtualmente exenta de problemas. Unicamente se tuvieron dificultades con los adaptadores de fibra óptica de algunas estaciones de trabajo, que fueron fácilmente corregidos. Se vislumbran algunos conflictos en la interconexión con la NCIH, ya que esta red está basada en conmutadores ATM Fujitsu mientras que la red Duke cuenta con conmutadores Synoptics y los estándares que permitirán la interoperabilidad entre estos aún no se completan.

De las experiencias en la instalación de redes locales ATM, se puede afirmar que el cuello de botella ya no es la red misma, sino las estaciones de trabajo ya que sus capacidades de procesamiento de datos está muy restringida. Aún con la tecnología RISC su poder de

procesamiento varía de 80 a 90 Mbps, muy por debajo de las velocidades típicas de las líneas ATM.[160]

Esta situación sin duda cambiará en el futuro a medida que se introduzcan más sistemas ATM y evolucione la tecnología en el desarrollo de nuevas estaciones de trabajo.

11.3 Implementaciones de ATM en sistemas integrales de voz, datos y video

ATM no se utiliza únicamente como un sustituto de alta velocidad de las redes actuales. Por el contrario, su principal aplicación se da en la transmisión de servicios en tiempo real a través de grandes distancias gracias a su habilidad para enlazar varias redes y conmutar tráfico entre ellas.

En varios países desarrollados se han efectuado pruebas piloto de redes ATM e incluso en algunos como E.U., Canadá y la Comunidad Económica Europea se encuentran en proceso de instalación grandes redes que unirán a nivel nacional oficinas gubernamentales, hospitales, universidades y bibliotecas entre otros. Cada uno de estos megaproyectos, descritos a continuación, se enlazarán con otras redes ATM a nivel internacional.

11.3.1 Redes ATM en Europa

El proyecto de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Tecnologías de Comunicaciones Avanzadas en Europa, RACE por sus siglas en inglés, es el programa de investigación sobre redes ATM más importante en el continente europeo. Inició sus operaciones en junio de 1987 y concluyó en diciembre de 1995, incluyendo las fases I y II así como su extensión.

El objetivo primordial de este proyecto es la introducción de comunicaciones integradas de banda ancha en Europa. Para lograr este fin, colaboran dieciséis empresas europeas de telecomunicaciones en la evaluación de la tecnología ATM para la plataforma de banda ancha de las superautopistas europeas de la información.

Esta prueba piloto da a los operadores y usuarios europeos la oportunidad de evaluar y desarrollar la tecnología ATM. Los participantes trabajan para resolver cualquier problema de interpretación de los estándares emitidos a la fecha para lograr la interconectividad. Una vez

que las normas han sido probadas exitósamente, se desarrollan las especificaciones para la interoperabilidad de los equipos ATM y se pueden establecer las bases técnicas para los servicios comerciales que se ofrecerán en el futuro.

El proyecto RACE inició sus operaciones funcionales en julio de 1994 y se esperaba que concluyera en julio de 1995, pero se amplió su duración seis meses más con el fin de permitir la participación de más usuarios.

Los servicios que se ofrecen a través de ATM varían de país a país pero los principales son: SMDS, Frame Relay y emulación de circuitos para servicios con tasas constantes de transmisión de bits (CBR). Existe un nodo internacional en cada país participante y la red tiene conectividad lógica completa a nivel de trayectorias virtuales. Cada nodo soporta al menos 256 rutas virtuales por puerto. La red provee de enlaces punto a punto en su primera fase y se planea agregar enlaces multipunto en su segunda fase. Dado que la capacidad de transmisión está limitada, se tienen conexiones de trayectorias virtuales a velocidades de hasta 2 Mbps.

La fase II del programa RACE terminó en 1995 y se continuó con el programa de Tecnologías y Servicios de Comunicaciones Avanzadas, ACTS por sus siglas en inglés, que inició hacia finales de 1995 y concluirá en 1998. Su objetivo es acelerar la implementación de la infraestructura de comunicaciones integradas de banda ancha a través de Europa.[204]

El proyecto ACTS pretende probar las comunicaciones de banda ancha y dar solución a las necesidades de los usuarios finales, considerando los aspectos sociales, económicos y reglamentarios. Las áreas que cubrirá son las siguientes:

1.- Sistemas multimedia interactivos y servicios.

2.- Tecnología fotónica.

3.- Interconexiones de alta velocidad.

4.- Comunicaciones móviles y personales.

5.- Inteligencia en las redes e ingeniería de servicios.

6.- Calidad, confiabilidad y seguridad de los sistemas de comunicaciones.

El programa RACE está compuesto de un gran número de proyectos, a continuación se describen los más importantes:

1.- Proyecto Línea 4 (Comunicaciones de Imágenes).- El objetivo de este proyecto es optimizar el transporte de señales audiovisuales a través de las redes de banda ancha, creando de esta manera un ambiente propicio para la explotación de los servicios multimedia. Línea 4 está estructurado de la siguiente manera:

a) Representación digital y procesamiento de imágenes.- Implica la codificación de imágenes, producción híbrida de imágenes y televisión estereoscópica. Con la introducción de servicios multimedia, la demanda de imágenes híbridas (combinación de imágenes sintéticas y reales), tendrá una gran demanda en los programas de televisión del futuro. Por otra parte, se investiga en el desarrollo de la televisión tridimensional y en la evolución de la infraestructura de la información que permita la interacción entre las redes de telecomunicaciones y de televisión por medio de conversión de formatos y normas de codificación.

b) Transmisión digital de imágenes.- En esta área se trabaja en la introducción de la televisión digital en las redes ATM y en las diversas funcionalidades como la interactividad por ejemplo. También se desarrollan servicios multimedia que se ofrecerán en las redes fijas y móviles.

c) Interoperabilidad y sistemas de acceso multimedia interactivos.- El éxito de los servicios multimedia distribuidos reside en la creación de condiciones apropiadas de forma que las nuevas aplicaciones puedan recorrer libremente las redes, servicios y plataformas. Se debe contar con arquitecturas abiertas en los niveles de transporte, servicio, servidores y terminales. Se investiga también el control de acceso y las interfases de usuario.

2.- Proyecto R2089 Herramientas Ad-hoc de Configuración de servicios (ASCOT).- Su objetivo es investigar la influencia de la configuración del servicio de usuario final en el diseño de los servicios de comunicaciones integradas de banda ancha y en sus arquitecturas, para crear una forma común de representar y configurar los servicios. Este programa inició en Mayo de 1992 y concluyó en octubre de 1995.

3.- Proyecto R2008 Eurobridge.- Su función es desarrollar una plataforma de servicios que permita ejecutar las aplicaciones en una variedad de redes de banda ancha con el fin de

fomentar el desarrollo de aplicaciones multimedia y multipunto. Actualmente Eurobridge provee de cuatro servicios:

- Videoconferencia.

- Correo multimedia.

- Sistema de entrenamiento de lenguaje de signos.

- Sistema de información turística.

4.- Proyecto R2061 EXPLOIT.- Provee de una plataforma ATM con soporte técnico para experimentos de tráfico y para la demostración en Europa de los servicios distribuidos interactivos. Se implementó un esquema de señalización de banda ancha para el establecimiento y liberación de llamadas y para la selección de programas de TV.

La primera transmisión de ATM a través de satélite se realizó desde la base EXPLOIT en Basel, Suiza en diciembre de 1992.

5.- Proyecto R2115 HIPERNET.- Su meta es desarrollar y probar en campo un sistema multimedia integrado para el entrenamiento distribuido del lenguaje utilizado por usuarios remotos en la ciudad de Cambridge, Inglaterra. Para este efecto se instaló una red ATM con capacidad de transmisión del orden de los gigabits, que conecta diversas plataformas multimedia remotas.

Otros proyectos complementarios de RACE son:

- R2024 Facilidades de Acceso de Banda Ancha (BAF).

- R2049 CASSIOPEIA.- Es un marco de referencia de la arquitectura de los servicios abiertos para la ingeniería de servicios integrados, cuyo objetivo es promover la introducción de nuevos y mejores servicios así como su administración.

- R2059 Administración de Comunicaciones Integradas (ICM).