



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONAL
"ARAGON"

TECNOLOGIA ATM: PERSPECTIVA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN COMPUTACION

P R E S E N T A :

CAROLINA FLORES CRUZ

ASESOR: ING. LILIA ENCISO GARCIA

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEX.

1998

TESIS CON
FALLA EN ORIGEN

263053



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por abrir sus puertas no solo a mí, si no a muchos otros estudiantes hacia una formación profesional.

Al Ing. Donaciano Jiménez Vázquez y a la Ing. Lilia Enciso García por su apoyo en la realización de este trabajo.

Al Departamento de Operación de la Red de la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico (DGSCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México, así como a todo el personal que ahí labora por su apoyo y por permitirme crecer junto con ellos en el ámbito profesional.

CON ESPECIAL DEDICACIÓN :

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto.

A mis padres Margarito y Carolina, quienes siempre me han brindado más que su apoyo, confianza y cariño, nunca terminaré de agradecer todo el esfuerzo que han hecho por ayudarnos y alentarnos a superarnos día con día . Este trabajo es suyo!

A mis hermanos: Martha y Edgar por dejarme compartir muchas experiencias con ellos, por permitirme crecer juntos en muchos aspectos y por su ayuda a lo largo de mi carrera. Espero recorramos juntos muchos caminos más!

A todos mis familiares que me apoyaron y brindaron algún consejo a lo largo de mi carrera.

A todos mis amigos, con quienes compartí momentos inolvidables de compañerismo y amistad.

TEMARIO

INTRODUCCIÓN	1
I. REDES DE COMPUTADORAS	2
1.1 Evolución de las comunicaciones de datos	3
1.1.1 Redes	4
1.1.2 Internet	7
1.2 Modelo OSI	8
1.3 Redes de área local	11
1.3.1 Componentes	11
1.3.2 Arquitectura cliente-servidor	14
1.4 Aplicaciones, uso y diferencias entre X.25, Frame relay y ATM	14
1.5 Características de ATM	20
II. DEFINICIÓN DE ATM	21
2.1 Un medio de transmisión flexible	22
2.2 Multiplexación estadística y la evolución de "Cell Relay Switching"	24
2.3 La técnica utilizada por Cell relay	27
2.4 Elementos de una red ATM	29
2.5 Arquitectura básica de ATM	33
2.6 Capa de adaptación ATM (AAL)	36
2.7 Canales y Rutas virtuales	40
2.7.1 Identificadores de canal y de rutas virtuales	43
III. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE SWITCHEO	46
3.1 Descripción	47
3.2 Técnicas de switcheo	48
3.2.1 Conmutación de circuitos	48
3.2.2 Conmutación de paquetes	49
3.3 Funciones de un switch ATM	50
3.4 Ruteo de celdas	52
3.4.1 Almacenamiento temporal de celdas	53
3.4.2 Encolamiento de entrada	55
3.4.3 Encolamiento de salida	56
3.5 Tipos de switches	58
3.5.1 Switches con recursos compartidos	58
3.5.2 Switches con división de espacio	59
3.6 Consideraciones para el plano de usuario	60
3.7 Consideraciones para el plano de control	61

3.8 Consideraciones para el plano de administración	62
3.9 Resumen de las funciones de un switch	66
IV. ESTRUCTURA DE CELDAS	70
4.1 Historia	71
4.2 Formato de las celdas ATM	72
4.3 Colocación de la información en las celdas	76
4.3.1 Adaptación	78
4.3.2 Segmentación	79
4.4 Principio de ruteo de celdas	79
4.5 Protección contra congestión	82
4.6 Control de admisión	84
4.7 Espaciamento y supervisión	85
4.8 Notificación de congestión	87
4.8.1 Flujo de la información multiplexada	89
4.9 Adaptación de la velocidad	90
4.9.1 Protección del encabezado por el HEC	91
4.9.2 Otras técnicas de adaptación de velocidad	93
4.10 Delineación de celdas	97
V. EQUIPO	99
5.1 Categorías propuestas	100
5.2 Dispositivos de adaptación	102
5.2.1 NICs de adaptación	103
5.2.2 Hubs de adaptación	105
5.2.3 Concentradores de adaptación	106
5.2.4 Switches de adaptación	107
5.2.4.1 Tipos de switches de acuerdo al costo	108
5.3 Estrategias de adaptación	109
5.4 Ruteadores en ambiente ATM	111
5.4.1 Backplane	111
5.4.2 Seguridad	112
Apéndice A	114
Apéndice B	121
Bibliografía	123

Introducción

En el mundo de las telecomunicaciones siempre ha estado presente la necesidad de disponer de redes cada vez más rápidas y más baratas. Esta necesidad se hace mas patente hoy en día con la disponibilidad de PCs y estaciones de trabajo de características bastante robustas y a precios accesibles, además hay que agregar la aparición de aplicaciones multimedia como WWW.

Con el desarrollo de técnicas de conmutación, de compartición del ancho de banda y transmisión mediante fibra óptica se están haciendo realidad redes que además de sus altas prestaciones permiten la integración de servicios bajo una misma interfase de usuario, este es el caso de ATM ya que nos permite manejar diversos tipos de tráfico (voz, datos y video) transportándolos a través de la red en celdas de tamaño constante a velocidades realmente altas, necesarias para las aplicaciones actuales.

Por otra parte, ATM brinda la facilidad de adaptarse a las tecnologías LAN ya existentes, por lo que no obliga a un cambio total en la infraestructura de la red y en cambio puede traer muchos beneficios a ésta.

Actualmente ATM se perfila a ser uno de los estándares más utilizados en el mundo de las telecomunicaciones ya que logra optimizar el desempeño de una red, por lo cual considero importante el conocer su funcionamiento para comprender el proceso de adaptación y convivencia entre las tecnologías LAN existentes y ATM.

1 Redes de computadoras

En este capítulo se dará una introducción general a lo que son las redes de computadoras, de cómo han ido evolucionando, sus componentes principales, sus ventajas y una pequeña comparación de ATM con algunas tecnologías antecesoras a ella. También se definen algunos conceptos técnicos que permitirán un mejor entendimiento en los siguientes capítulos.

1.1 Evolución de las comunicaciones de datos

Durante el siglo XX, la tecnología clave ha sido la recolección, procesamiento y distribución de información; entre otros desarrollos se han hecho comunes la instalación de redes telefónicas en todo el mundo, la invención de la radio y la televisión, el nacimiento y crecimiento de la industria de las computadoras, así como la puesta en órbita de los satélites de comunicación.

Y a medida que avanzamos hacia los últimos años de este siglo, nos damos cuenta que se ha dado una rápida convergencia de estas áreas, y también de las diferencias entre la captura, transporte, almacenamiento y procesamiento de información están desapareciendo con rapidez. Organizaciones con centenares de oficinas dispersas en un área geográfica extensa esperan tener la posibilidad de examinar en forma habitual el estado actual de todas ellas simplemente oprimiendo una tecla. A medida que crece nuestra habilidad para recolectar, procesar y distribuir información, la demanda de mas sofisticados procesamientos de información crece todavía con mayor rapidez.

Inicialmente en las grandes compañías y universidades existían enormes computadoras, que para usarlas eficientemente era conveniente ubicarlas de manera central; esto proporciona un mejor control, facilita el mantenimiento y reduce el costo. Sin embargo al centralizar el procesamiento de datos en un solo lugar se origina la necesidad de llevar toda esa información desde los distintos sitios de trabajo a el punto donde

se encuentra dicha computadora. Los sistemas de procesamiento central se hicieron más flexibles debido a la introducción de sistemas de teleproceso de tiempo compartido conectados a través de líneas de comunicación; los cuales consistieron en terminales que tenían acceso a una computadora central desde otros edificios a y aún desde otras ciudades. Un ejemplo gráfico de un sistema centralizado lo podemos observar en la figura 1.1

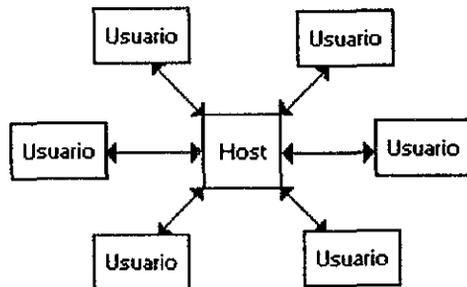


Figura 1.1 Sistema centralizado

1.1.1 Redes

Con la introducción de minicomputadoras que realizan algún tipo de procesamiento por sí mismas, se originaron sistemas de procesamiento distribuido donde cada terminal cuenta con información que puede compartir con otras terminales, además de acceder a una computadora central (figura 1.2). Estos sistemas evolucionaron y se convirtieron en redes de computadoras (las redes de área local -LAN- que generalmente se ubican en un solo edificio), es decir en sistemas de cómputo que utilizan equipo de comunicación para conectar dos o mas computadoras y

así poder *compartir sus recursos* y su objetivo es hacer que todos los programas, datos y periféricos estén disponibles para cualquier usuario de la red que así lo solicite, sin importar la localización física del recurso y del usuario.

Por lo general una red está formada por los siguientes elementos:

- Servidor
- Estaciones de trabajo
- Tarjetas de interfaz de red
- Sistemas de cableado
- Periféricos (compartidos)

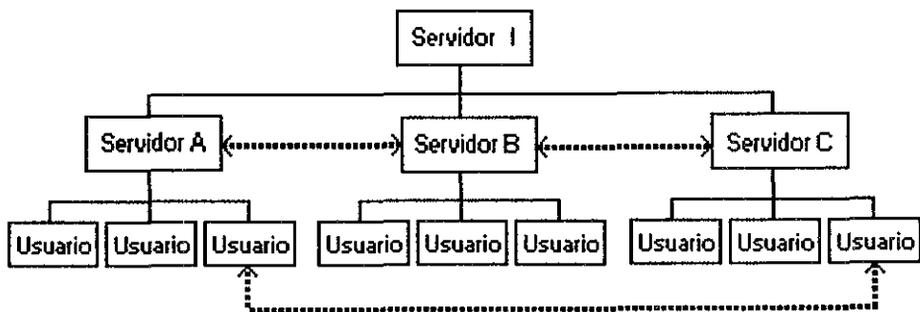


Figura 1.2 Sistema distribuido

Existen grandes ventajas dentro de una empresa (ya sea pública o privada) al trabajar a través de una red de computadoras. Algunas de ellas son las que menciono en seguida:

- **Compartir programas y archivos**
- **Compartir recursos -periféricos- dentro de la red (impresoras, unidades de cinta, cd, etc.)**
- **Compartir bases de datos**
- **Expandir la capacidad de máquinas pequeñas**
- **Uso de correo electrónico**
- **Crear grupos de trabajo**
- **Seguridad**
- **Acceso a más de un sistema operativo**
- **Mejorar la organización de la empresa**
- **Acceso a varios servicios de Internet (gopher, archie, www, etc.)**

Las redes locales se llegaron a extender de manera que dos o más de ellas se unieron entre sí (redes interconectadas) o inclusive en redes de gran alcance conectadas generalmente por fibra óptica que cubren una gran zona o inclusive a una ciudad.

Actualmente existen diversas clasificaciones de las redes por su extensión geográfica, originalmente solo existían tres: LAN (Local Area Network), MAN (Metropolitan Area Network) y WAN (Wide Area Network) y había especificaciones limitantes de ellas de acuerdo a la distancia que abarcaban, *sin embargo en la actualidad debido al crecimiento sin*

precedente de ellas resulta un tanto difícil el diferenciar un tipo de otro, ya que por lo regular la mayoría de las redes se encuentra interconectada a la red de redes: Internet.

Sin ahondar mucho en cuestiones técnicas en cuanto a las distancias específicas de la clasificación de redes por extensión geográfica podemos decir que: una LAN abarca uno o un par de edificios, una MAN abarca varias LANs -se ha creado una clasificación llamada Campus Area Network, que abarca varias LANs pero de una institución en particular- y las WAN abarcan toda una ciudad, es decir varias MANs.

1.1.2 Internet

Inicialmente el Departamento de Defensa de EU instaló una red utilizando una línea telefónica en todo el mundo llamada ARPANET, las conexiones a grandes distancias se realizaban a través de la línea telefónica. Las redes locales eran implementadas utilizando la misma tecnología de cables que en la comunicación telefónica; buscando nuevas técnicas en la distribución de datos en la Universidad de Hawaii se diseñó una red que unía a usuarios a través de comunicación vía radio, esta red era llamada ALOHANET.

En los laboratorios de Xerox Corp. se comenzó a utilizar una red para la producción interna que utilizaba un protocolo y características propias, llamada ethernet. Esta fue la base para el estándar de las redes de área local. Actualmente Internet es una red integrada por diversas redes de todo el mundo que forma una red cooperativa, donde cada una tiene una administración local pero todas en conjunto son coordinadas por distintos comités en común.

La necesidad de incluir un mayor número de servicios dentro de una red, tales como datos, voz, imagen y video originaron la necesidad de una Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (RDSI-BA). La tecnología para realizar esto está basada en el desarrollo en tres importantes áreas:

la microelectrónica que ha permitido reducir cada vez más el tamaño de los circuitos, la fotónica que ha transformado los medios de comunicación de señales eléctricas a ópticas incrementando enormemente la capacidad, y finalmente el desarrollo del software que a través de técnicas de procesamiento de voz, video e imágenes es posible satisfacer todos los requerimientos antes mencionados.

A mediados de los 80's se realizaron las primeras pruebas de ISDN. En 1988 se comienzan a definir los estándares y normas, en Gran Bretaña, Francia, Alemania y Japón se hacen disponibles servicios de RDSI y surge un mayor interés. En 1993 se finalizan los estándares entre Europa y EU y mas productos se hacen disponibles, así como las tarifas mas baratas. Actualmente es impresionante el número de redes que se adicionan a la red de redes (Internet), así como la velocidad impresionante con que varias tecnologías de redes han ido surgiendo y evolucionando con el fin de lograr un mejor aprovechamiento de los recursos que Internet nos brinda.

1.2 Modelo OSI

En la figura 1.3 se muestra un modelo basado en una propuesta desarrollada por la Organización Internacional de Normas (ISO), como un primer paso hacia la normalización internacional de varios protocolos. A este modelo se le conoce como Modelo de referencia OSI (Open System Interconnection, Interconexión de sistemas abiertos), porque precisamente se refiere a la conexión de sistemas heterogéneos, es decir, a sistemas dispuestos a establecer comunicación con otros distintos.

El sistema OSI tiene siete capas, los principios aplicados para el establecimiento de ellas fueron los siguientes.

1. Una capa se creará en situaciones en donde se necesita un nivel diferente de abstracción.
2. Cada capa deberá efectuar una función bien definida.
3. La función que realizará cada capa deberá seleccionarse con la intención de definir los protocolos normalizados internacionalmente.
4. Los límites de las capas deberán seleccionarse tomando en cuenta la minimización del flujo de información a través de las interfases.
5. El número de capas deberá ser lo suficientemente grande para que funciones diferentes no tengan que ponerse juntas en la misma capa y , por otra parte también deberá ser lo suficientemente pequeño para que su arquitectura no llegue a ser difícil de manejar.

Hay que observar que el modelo OSI, por sí mismo no es una arquitectura de red, dado que no especifica en forma exacta los servicios y protocolos que se utilizarán en cada una de las capas. Solo indica lo que cada capa deberá hacer. Sin embargo la ISO también ha generado normas para todas las capas , aunque éstas no forman parte del modelo; cada una de ellas se ha publicado como normas internacionales independientes.

Nivel físico. Aquí se definen las características eléctricas y mecánicas de la red necesarias para establecer y mantener la conexión física (incluyen las dimensiones físicas de los conectores, los cables y los tipos de señales que van a circular por ellos)

Nivel de enlace. Se encarga de establecer y mantener el flujo de datos que DISCURRE entre los usuarios. controla si se van a producir errores y los corrige (incluye el formato de los bloques de datos, códigos de dirección, orden de los datos transmitidos, detección y recuperación de errores)

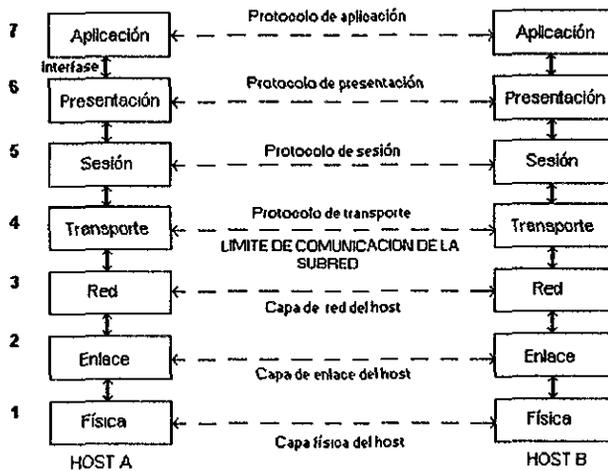


Figura 1.3. Capas del modelo OSI

Nivel de red. Se encarga de decidir por donde se han de transmitir los datos dentro de la red (incluye la administración y gestión de datos, emisión de mensajes y regulación de tráfico de la red)

Nivel de transporte. Asegura la transferencia de la información a pesar de las fallas que pudieran ocurrir en los niveles anteriores (detección de bloqueos, caídas del sistema y búsqueda de rutas alternativas)

Nivel de sesión. Organiza las funciones que permiten que dos usuarios se comuniquen a través de la red (tareas de seguridad, contraseñas de usuario, administración del sistema)

Nivel de presentación. Traduce la información del formato de la máquina a un formato entendible por los usuarios (control de impresoras, emulación de terminal, sistemas codificados)

Nivel de aplicación. Se encarga del intercambio de la información entre los usuarios y el sistema operativo (transferencia de archivos y programas de aplicación)

El proceso que se produce desde que un usuario envía un mensaje hasta que llega a su destino consiste en una bajada a través de todos los niveles (con sus protocolos correspondientes) hasta llegar al primero. Allí se encontrará en el canal de datos que le dirigirá al usuario destino y volverá a subir por todos los niveles hasta llegar al último de ellos.

1.3 Redes de área local

La necesidad de mover información o datos de una manera rápida, flexible y económica ha generado el desarrollo de redes efectivas de información entre diferentes usuarios o terminales.

Las redes de área local se encuentran limitadas dentro de un área geográfica bien definida y este tipo de redes son precisamente la base de lo que actualmente forma la telaraña mas grande de información (el World Wide Web)¹, ya que a partir de la unión de ellas van surgiendo redes cada vez más grandes en extensión geográfica, formando así la red de redes.

1.3.1 Componentes

Para comunicar distintos dispositivos en un determinado lugar se requiere básicamente de:

- Un medio de comunicación
- Adaptadores de red o interfaz con el medio de comunicación
- Topología física

¹ World Wide Web: También llamado WWW o simplemente Web.

- Protocolo de acceso al medio
- Especificaciones eléctricas para codificación, formato y transmisión de datos.

Un medio de transmisión es un medio físico que puede transportar información en forma de señales electromagnéticas. Los medios de transmisión permiten mandar la información de una estación de trabajo al servidor o a otra estación de trabajo y son una parte esencial de una red. Los medios físicos guiados de comunicación más utilizados en la interconexión de las estaciones de trabajo en una red son el cable coaxial, el par trenzado y la fibra óptica. Para la utilización de cada uno de ellos existen especificaciones precisas establecidas por los organismos internacionales, en este trabajo no se mencionan ya que no se cree necesario; bastará con decir que en la actualidad la fibra óptica es uno de los medios de transmisión guiados más confiables.

Cabe mencionar que algunas redes se implementan con medios de transmisión no guiados, a este tipo de redes se les llama inalámbricas ya que la comunicación no se establece mediante cables. La transmisión se da mediante microondas o por satélite.

Un adaptador de red es un periférico que le permite a la computadora extender su bus al de otras computadoras mediante la red denominada. La ventaja de este sistema es que en él no es importante la arquitectura interna de los equipos que se van a comunicar ya que el adaptador es quien se encarga de acoplar dicha arquitectura a un medio de transmisión común entre los diferentes adaptadores.

Para poder interconectar varias computadoras, aunque sus adaptadores de red sean de diferentes modelos o fabricantes, todos sus adaptadores deben trabajar de acuerdo a un estándar de red, el cual puede ser: Ethernet, Token ring, FDDI, Fast Ethernet, 100VGAnyLAN, ATM, etc. En general no es posible que adaptadores de estándares diferentes se comuniquen entre sí, exceptuando el caso de Fast Ethernet que tiene

como una de sus virtudes el reconocer en forma automática si debe trabajar como Fast Ethernet o Ethernet.

La topología es la forma en que se encuentran distribuidas las estaciones de trabajo y los cables que las conectan. Las estaciones de trabajo de una red se comunican entre sí mediante una conexión física, y el objeto de la topología es buscar la forma más económica y eficaz de conectarlas para facilitar la fiabilidad del sistema, evitar los tiempos de espera en la transmisión de datos², permitir un mejor control de la red y permitir de forma eficiente el aumento de las estaciones de trabajo. La decisión para la elección del tipo de topología empleado al diseñar una red, depende mucho de las necesidades que se tengan en el área, el espacio físico y las características con las que se cuentan en el lugar de trabajo. Cada una cuenta con sus ventajas y desventajas, sin embargo algunas de ellas se pueden combinar para lograr un desempeño mejor. Algunas de las topologías mas comunes son: bus, anillo, estrella, estrella/bus, árbol, etc.

Los protocolos de acceso al medio son las reglas mediante las cuales se comparte el medio físico de la red. Estas reglas definen el llamado control de acceso al medio (MAC, Media Access Control); existen técnicas de acceso centralizado en donde un controlador es el que otorga el acceso y técnicas descentralizadas, en las cuales las estaciones colectivamente realizan un control de acceso al medio. Las técnicas de acceso que existen en equipos comerciales son: CSMA/CD (Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection), Token Passing (paso de testigo), Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA, Time Division Media Access).

² También conocido como delays o retardos en la transmisión o recepción de la información.

1.3.2 Arquitectura cliente-servidor

Para poder interconectar las computadoras y compartir los periféricos se necesita configurar una o más computadoras como servidores de la red. El resto de las computadoras se denominan estaciones de trabajo, y desde ellas se facilita a los usuarios el acceso a los periféricos de la red, así como a los servicios que se hallan instalados en dicho servidor.

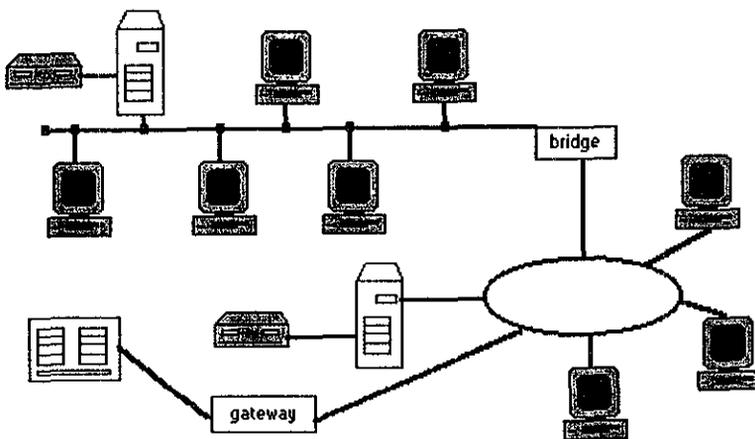


Figura 1.4 Red local con arquitectura cliente-servidor

1.4 Aplicaciones, uso y diferencias entre X.25, Frame relay y ATM

Tres de las tecnologías más usadas para la transmisión de datos a niveles locales, nacionales e internacionales son sin duda alguna el X.25, Frame

relay y ATM. Dichas tecnologías están siendo usadas cada día mas por operadores públicos para ofrecer servicios de alta y baja velocidad, que buscan satisfacer las necesidades de interconexión de datos y redes de área local, así como también para la transmisión de voz, imágenes y video. A continuación describo en términos muy generales la aplicación de dichas tecnologías con el objetivo de mostrar su uso, así como presentar la relación que existe entre X.25, Frame relay y ATM.

X.25

X.25 es una recomendación del ITU-T que describe el protocolo requerido para establecer y mantener llamadas de comunicación de datos entre un DTE y un DCE en una red de comunicación de datos por paquetes conmutados. Bajo la recomendación del ITU-T, el DTE está localizado en el lado del usuario, mientras que el DCE está ubicado en la red.

X.25 es full-duplex, es decir que los equipos involucrados pueden transmitir y recibir datos simultáneamente. Inicialmente X.25 fue especificado para soportar comunicaciones síncronas, pero gracias a innovaciones posteriores el protocolo ahora soporta conexiones asíncronas.

X.25 se desarrolló en 1974 y desde su creación se convirtió en uno de los protocolos más usados en el mundo, X.25 trabaja en las tres primeras capas del modelo del ISO (International Standard Organization), es decir las capas física, de enlace y de red. Cuando X.25 se inventó la comunicación de datos a través de las líneas existentes no era confiable, ya que la mayoría estaban basadas en circuitos analógicos, los cuales son muy susceptibles a ruidos externos. Por lo tanto se requería de un protocolo que fuera robusto y sobre todo altamente confiable, a pesar de que los medios de transmisión no eran óptimos; estos es lo que X.25 precisamente ofrece: comunicación y entrega garantizada de datos de un punto a otro, a nivel local, nacional e internacional.

Frame Relay

Con la evolución de la tecnología y las consecuentes mejoras de los medios de telecomunicación traídas por la digitalización de los enlaces, se hizo evidente que la verificación de la integridad de las tramas de información en cada nodo ya no era necesaria; este escenario dio origen al protocolo Frame relay, el cual toma ventajas de los beneficios ofrecidos por la alta calidad de las líneas digitales y de fibra óptica existentes hoy en día. Aún cuando falta mucho por hacer, podemos decir que en México el proceso de digitalización de las líneas de comunicación ha avanzado a pasos agigantados, actualmente existe una red de fibra óptica que cubre la mayoría de las ciudades del país. De igual modo, algunas de las empresas nacientes están implantando sus propias redes de fibra óptica para ofrecerles servicios de interconexión de alta calidad a sus usuarios.

En contraste con X.25, el cual está definido en las tres primeras capas del modelo OSI, el frame relay trabaja en los dos primeros niveles de dicho modelo. Al no trabajar en la capa de red todos los protocolos que funcionan a este nivel o a uno mayor son transferidos a través de la red en una forma transparente; esto hace que la velocidad de transmisión de las tramas aumente considerablemente, de esta forma frame relay soporta velocidades que varían desde 9600 bps hasta 56 Mbps.

Similar al X.25 una red de Frame relay transfiere datos entre dos equipos, un DTE y un DCE o un DTE y otro DTE. La red recibe las tramas del equipo transmisor y verifica su estructura, longitud y CRC. Si la información es aceptable, la red envía la trama a su destino (el cual está identificado por un campo de información en la trama). La red también es responsable de mantener el orden de las tramas y se asegura de que las mismas no sean duplicadas.

Es común que cuando un usuario desea una conexión de frame relay se establece un contrato entre el proveedor y el usuario. Entre otras cosas el contrato especifica el mínimo ancho de banda que el proveedor se

compromete a ofrecer cuando haya interconexión. Esto se conoce como el CIR (Committed Information Rate), además de esto el proveedor le puede permitir al usuario exceder el CIR siempre y cuando exista ancho de banda disponible en la red. Este parámetro es conocido como EIR (Excess Information Rate); de este modo un usuario podría ordenar, por ejemplo, un enlace de frame relay con CIR de 64 Kbps y un EIR de 256 Kbps. Bajo estas condiciones el usuario puede transmitir a una velocidad mayor de la contratada, siempre que no exista congestión en la red. Este es uno de los grandes beneficios que ofrece frame relay.

Frame relay establece mecanismos que sirven para prevenir congestiones permanentes en la red, dichos mecanismos requieren de una comunicación estrecha entre la red y los DTEs. En caso de congestiones, utiliza dos campos de las tramas llamados FECN (Forward Explicit Congestion Notification) que sirven para informarles a los DTEs que empieza a existir congestión y que, por lo tanto deben reducir la velocidad a la cual se encuentran transmitiendo. Si el DTE no responde a la petición de la red de reducir su velocidad de transmisión, entonces se enciende un bit de la trama conocido como DE (Discard Eligibility) el cual es una indicación de que el nodo que recibe la trama puede descartar la misma durante períodos severos de congestión.

Uno de los elementos más utilizados para el acceso de la red, son los equipos conocidos como ruteadores; los cuales son equipos de interconexión que trabajan a nivel de red (capa 3). El uso mayor de los ruteadores es el de interconectar redes de área local LAN (Local Area Network) mediante redes de área amplia WAN (Wide Area Network). Los tipos de redes locales LANs utilizados y los protocolos de alto nivel no tienen que ser similares en ambos extremos de la conexión. Por ejemplo, es posible interconectar redes Ethernet, Token ring y FDDI localmente a través de la red de área amplia, así como también protocolos de alto nivel (por ejemplo TCP/IP, IPX, XNS, Apple Talk, etc.) siempre y cuando el protocolo en capa 3 se mantenga.

Bajo este escenario, múltiples usuarios pueden conectarse a la red simultáneamente en un solo punto de acceso; en otras palabras, frame relay puede multiplexar y demultiplexar diferentes tramas, en el mismo enlace físico.

Para lograr su objetivo utiliza un sistema de direccionamiento al nivel de enlace (capa 2). A las tramas se les da el nombre de DLC (Data Link Connection) y a cada una se le asigna un DLCI (Data Link Connection Identifier). Todas las tramas que participen en una conexión de frame relay contienen el mismo DLCI, además de los DLCIs otros procesos dentro de la red son usados para garantizar el direccionamiento correcto de las tramas del usuario.

Inicialmente Frame Relay sólo soportaba conexiones virtuales permanentes o PVC (Permanent Virtual Circuits), el cual se comportaba como una línea dedicada. Más recientemente el SVC (Switched Virtual Circuit) ha sido introducido por algunos proveedores. Esto permite la interconexión de un punto a otro mediante una conexión conmutada, tal como lo es una llamada telefónica común.

La interconexión de redes de área local a través de redes de área amplia ha sido uno de los responsables del crecimiento explosivo experimentado por el Frame Relay a nivel mundial. Si se requiere de una interconexión de datos a alta velocidad, en un ambiente en el cual los medios de transmisión son confiables, Frame relay es una de las mejores opciones.

ATM

ATM surgió como una evolución de la tecnología ISDN (Integrated Services Digital Network, Red digital de servicios integrados), de hecho el modelo de ATM tuvo su origen en otro modelo conocido como B-ISDN (Broadband ISDN, ancho de banda ISDN). ATM permite la colocación de múltiples señales en un solo canal (multiplexación) de diversos servicios tales como voz, video y datos a muy alta velocidad.

Hasta el momento, ATM ha encontrado mucho uso entre operadores públicos para transportar datos a alta velocidad a nivel del backbone (red dorsal). Al nivel de acceso existen proveedores de equipos que le permiten al usuario la interconexión directa de sus equipos actuales (PBXs, LANs, Video codecs, Multiplexores, Hosts, etc.) a una red ATM, de un modo totalmente transparente.

Si se tiene la necesidad de interconectar servicios de voz, video y datos con múltiples protocolos a diferentes velocidades, una solución de ATM puede ofrecer la alternativa más económica, confiable y eficiente.

En los siguientes capítulos se hablará de una forma más explícita del funcionamiento y características de esta tecnología.

1.5 Características de ATM

ATM combina las ventajas de las técnicas previas, la siguiente tabla resume las características principales de los métodos de switcheo tradicionales (por circuitos y por paquetes) y el de ATM.

Característica	Circuit Switching (ISDN)	Packet Switching (X.25)	Cell Switching (ATM)
Tiempo real	Si	No	Si
Transparencia	Si	No	Si
Protocolo punto a punto	Si	No	Si
Velocidad de bit variable	No	Si	Si
Multiplexación estadística	No	Si	Si

2 Definición de ATM

Como cimiento para entender las razones por las que ATM ha sido desarrollada y como base para comparaciones posteriores de la intensidad de ATM comparada con otras tecnologías de telecomunicaciones, este capítulo presenta los principios técnicos básicos así como la terminología empleada en este medio, explicando lo que diferencia a ATM de sus predecesoras. En particular, se hablará de los principios de multiplexación estadística y específicamente cell switching.

2.1 Un medio de transmisión flexible

ATM es una técnica de transmisión en telecomunicaciones y además una de las mas modernas. Está diseñada para ser flexible y eficiente en toda la extensión de la palabra. Una línea de transmisión o una red equipada con ATM debe ser capaz de soportar:

- Varios usuarios simultáneamente.
- Diferentes servicios de telecomunicaciones (telefonía, transmisión de datos, videotransmisión, interconexión LAN, etc.).
- Cada uno de estos servicios corriendo a diferentes velocidades de transmisión (con diferentes requerimientos de ancho de banda).

Pero todas estas posibilidades son ofrecidas por tecnologías predecesoras a ésta, entonces ¿En que se distingue ATM de éstas?. ATM lleva a cabo estas funciones de una manera más eficiente, en particular ATM es capaz de ajustar instante a instante la distribución de la capacidad disponible en la red entre los varios usuarios que se encuentren haciendo uso de ésta; además de distribuir dicha capacidad entre ambas partes (usuario-red) durante la sesión, ATM asegura que la capacidad de la línea está siendo

utilizada óptimamente, transportando solamente lo "útil" y necesario. Por ejemplo, los momentos de silencio en una conversación no necesitan ser transmitidos. La distribución dinámica del ancho de banda es llevada a cabo por ATM utilizando una nueva técnica llamada "Cell Relay Switching".

A continuación se muestra un esquema general de los diferentes niveles que se ven involucrados en una conexión ATM, de una forma jerárquica.

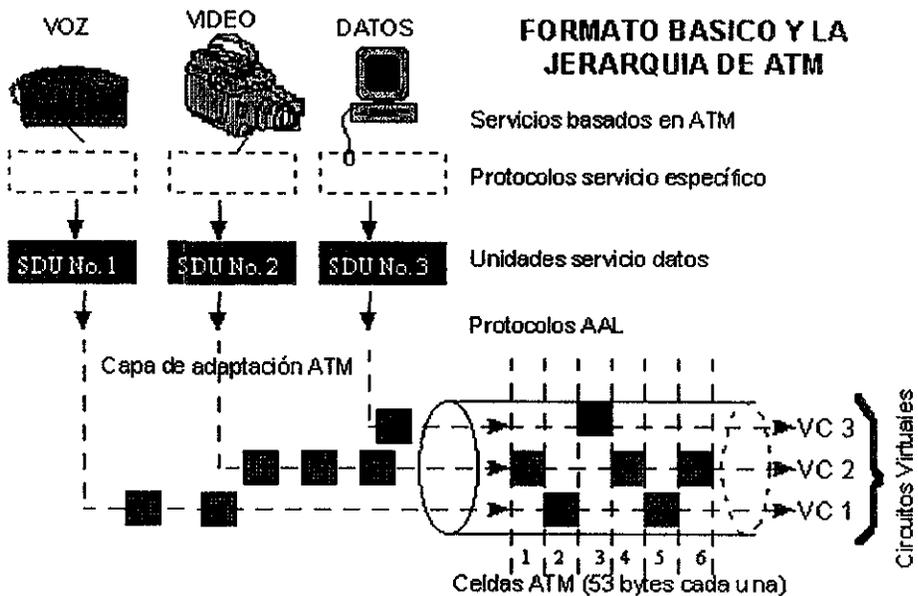


Figura 2.1 Niveles en ATM

2.2 Multiplexación estadística y la evolución de "Cell Relay Switching"

ATM está basada en una técnica de multiplexación estadística llamada Cell Relay Switching, la multiplexación estadística es una forma de multiplicar la capacidad efectiva de una línea de transmisión o una red, tomando ventaja de la naturaleza de la estadística cuando la información necesita ser transportada.

En una conexión de una conversación con multiplexación estadística, los períodos de silencio pueden ser suprimidos y no ser enviados por la línea, mientras tanto, algunas "palabras" de otra conversación podrían ser enviadas en estos intervalos. El mismo principio puede ser utilizado para la transmisión de datos, pueden estarse enviando caracteres entremezclados de diferentes textos o archivos diferentes uno tras otro de una manera rápida.

El mayor beneficio de la multiplexación estadística es que la capacidad de transportación de la línea es maximizada, evadiendo transmisiones innecesarias de información redundante (pausas, por ejemplo) y además debido a que la capacidad de la línea se pone a disposición de cada conexión o transportación, el tiempo de transmisión o propagación es reducido.

En el ejemplo de la figura 2.2 se ilustra la técnica de multiplexación estadística. Tres usuarios diferentes, representados por las fuentes A, B y C se comunican mediante una misma línea de transmisión, compartiendo los recursos de la línea mediante multiplexación estadística. Los tres circuitos fuente están alimentados por un multiplexor estadístico, el cual se encuentra conectado a una sola línea con un demultiplexor en el extremo final.

El multiplexor envía todo lo que recibe de cualquiera de los canales de origen directamente a la línea de transmisión, es confiable en los canales que están esperando enviar información simultáneamente; en un período

muy corto de tiempo, el multiplexor está diseñado para arreglárselas con las transmisiones simultáneas de los canales de origen. Lo anterior se logra enviando directamente a la línea de transmisión las señales más importantes y almacenando las de menos importancia en un buffer hasta que puedan ser transmitidas.

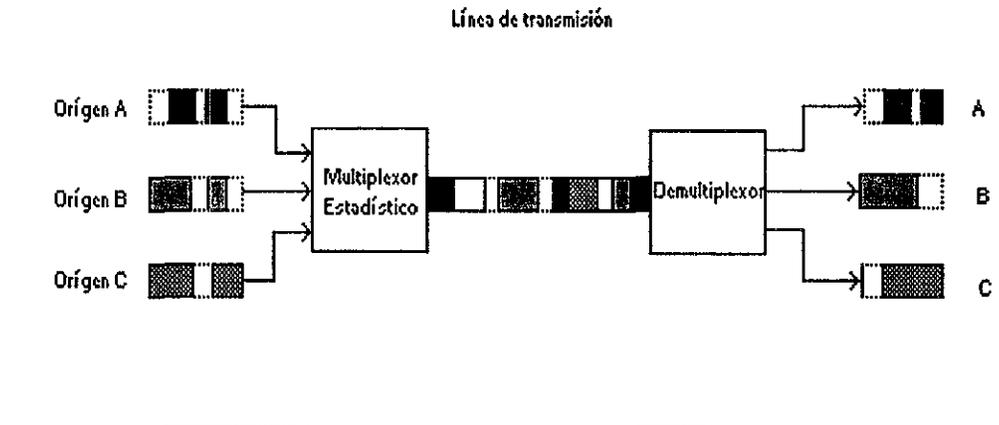


Figura 2.2 Multiplexación estadística

Los sistemas con multiplexación no pueden arreglárselas con períodos prolongados de transmisión simultánea de dos o más fuentes ya que durante los períodos de transmisión simultánea, el espacio de almacenamiento llega progresivamente a su máxima capacidad y empieza a desbordarse.

Sorpresivamente la pérdida de pequeñas cantidades de información no resultarán catastróficas, ya que las técnicas de transmisión de datos (protocolos) han sido diseñados especialmente para detectar y corregir la pérdida de información, así como para su retransmisión. De cualquier forma, la pérdida de algunos períodos de información (digamos más de 100 msecs.) no hacen que la conexión pierda mucha calidad.

Para evitar la posibilidad de que haya pérdida de información, el sistema debe estar planeado de manera que la suma del promedio en cada canal sea menor a la capacidad máxima de transmisión de la línea; en otras palabras, para que la multiplexación trabaje adecuada y aceptablemente la capacidad de la línea debe ser superior en 1.5 o 2 veces a la suma de lo que fluye a través de las fuentes (A+B+C).

Las primeras realizaciones prácticas de multiplexación estadística fueron protocolos de redes de datos; en particular, la multiplexación estadística es la base de *packet switching*. Este es el principio sobre el cual se encuentran basadas las recomendaciones de IBM SNA (Systems Network Architecture) y de ITU X.25.

Actualmente las redes de voz públicas no utilizan multiplexación estadística como en el caso de una red de datos, por el contrario, históricamente las redes telefónicas y de voz han estado basadas en *circuit switching* (conmutación de circuitos) mediante la asignación de un canal dedicado punto a punto durante la llamada.

Hasta hace algunos años tenían que utilizarse diferentes tipos de redes para la transmisión de diferentes tipos de servicios (voz y datos, por ejemplo), debido a que las líneas de transmisión no podían compartir de una manera fácil y eficiente voz y datos, además de una asignación dinámica de ancho de banda; es decir, un instante voz y otro datos.

Por esta razón, se han desarrollado varias tecnologías capaces de soportar en una sola red voz y datos. Las dos tecnologías más notables en esta categoría son las redes ISDN (Integrated Services Digital Network, Red digital de servicios integrados) y ahora las redes ATM (Asynchronous Transfer Mode, Modo de transferencia asíncrona).

ATM ha evolucionado con la técnica de multiplexación estadística, inherente a las redes basadas en *packet switched* (conmutación por paquetes) para de esta manera lograr un medio de transporte integrado

por voz, datos y video. Los "desarrolladores" de ATM se han concentrado simplemente en mejorar la técnica de "packet switching" y reducir el retardo de propagación (jitter) en voz, video y otras aplicaciones sensitivas, la técnica resultante es llamada Cell relay Switching o simplemente Cell Relay.

2.3 La técnica utilizada por Cell relay

Cell relay es una forma de multiplexación estadística, similar en muchos aspectos al packet switching (conmutación de paquetes), excepto que los paquetes son llamados celdas y cada celda es de un tamaño fijo y no variable.

El tamaño de la celda está definido por los estándares de ATM y es de 48 octetos (o bytes) mas un encabezado de 5 octetos, es decir, 53 octetos en total como se muestra en la figura 2.3.

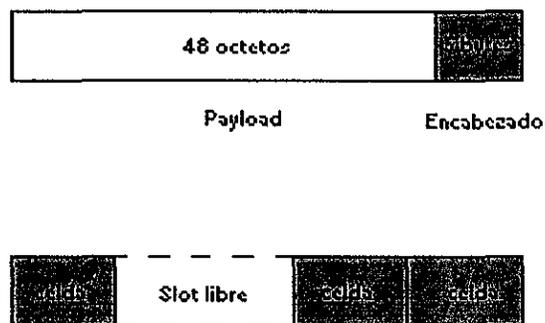


Figura 2.3 Celda ATM

El encabezado de la celda lleva información suficiente que permite determinar a la red a que conexión debe ser entregada cada celda, y por lo tanto a que puerto destino y a que usuario final.

Podría hacerse una comparación de como trabaja esta técnica con la forma en que lo hace el servicio postal e imaginar que cada una de las celdas sea una carta con 48 caracteres de información contenidos en un sobre en el que aparecen 5 dígitos de código postal. El remitente simplemente envía sus cartas (celdas) en el orden correcto y ellas van siendo transportadas hacia el otro extremo en el mismo orden, tal vez con un insignificante retraso de tiempo. De manera similar a como sucede con el servicio postal que cuenta con un gran número de camiones, camionetas y personal que llevan las diferentes cartas a diversos lugares y oficinas para que las cartas sean llevadas a los lugares indicados, la red ATM se compromete a direccionar las celdas específicamente a los lugares indicados mediante la inspección de la dirección contenida en el encabezado a través de una serie de enlaces de transmisión y switches.

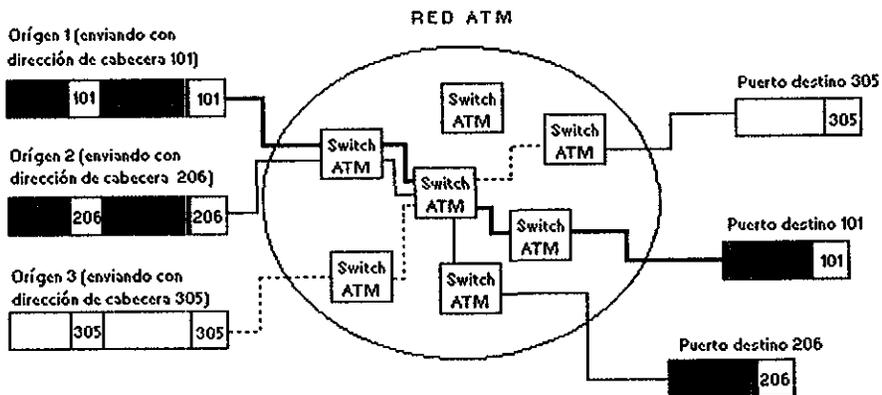


Figura 2.4 Envío de celdas por una red ATM

Un switch ATM actúa como si fuera un clasificador postal, en su entrada, es un buffer FIFO (first in-first out, primero en entrar-primero en salir) como una pila de cartas, y en la salida del buffer se encuentra la celda que ha estado mayor tiempo esperando a ser switchheada; las celdas nuevas que van llegando son colocadas hasta el final del buffer. El proceso de switcheo consiste en buscar el turno de cada celda y determinar que línea de salida deberá ser tomada según la dirección del encabezado; la celda es entonces puesta en la salida del buffer que tiene a más celdas encoladas esperando a ser transmitidas por esa línea.

Podría llegarse a pensar que 5 octetos son inadecuados para llevar la dirección de todos los usuarios en una red ATM, pero existen algunas estipulaciones de las especificaciones de ATM. En primera, los dígitos son octetos (base 256) en lugar de dígitos decimales (base 10), esto significa que el encabezado tiene un rango de 10^{12} combinaciones (40 bits), aunque solo un máximo de 28 bits son utilizados para la dirección.

La segunda estipulación es que las direcciones (correctamente llamadas identificadores) son solamente asignadas a conexiones activas.

A las conexiones ATM se les asigna un identificador durante la llamada, y es reasignado a otra conexión cuando la conexión se ha terminado. De esta forma, el número de identificadores disponibles no necesita ser el mismo número necesariamente de usuarios conectados a la red (que podrían ser millones), si no simplemente el número de conexiones activas simultáneas.

La tercera es que varias subregiones de la red podrían utilizar diferentes combinaciones de identificadores, con lo que se multiplicaría la capacidad disponible, pero exigiría la capacidad de los nodos de la red de traducir identificadores en encabezados de 5 octetos.

2.4 Elementos de una red ATM

Existen 4 elementos básicos (equipo) que hacen posible conformar una red ATM:

- Equipo del cliente (CEQ, Customer Equipment)
- Switches ATM
- Interconectores ATM
- Multiplexores ATM

Combinando estos elementos se puede formar una red como la que se muestra en la figura 2.5. Un número de interfaces son definidas por las especificaciones ATM como base para las conexiones entre varios componentes. Las interfaces mas importantes son:

- User-to- Network Interface (UNI), Interfaz de usuario a red.
- Network-to-Network Interface (NNI), Interfaz de red a red.
- Inter-Network Interace (INI), Interfaz inter-red.

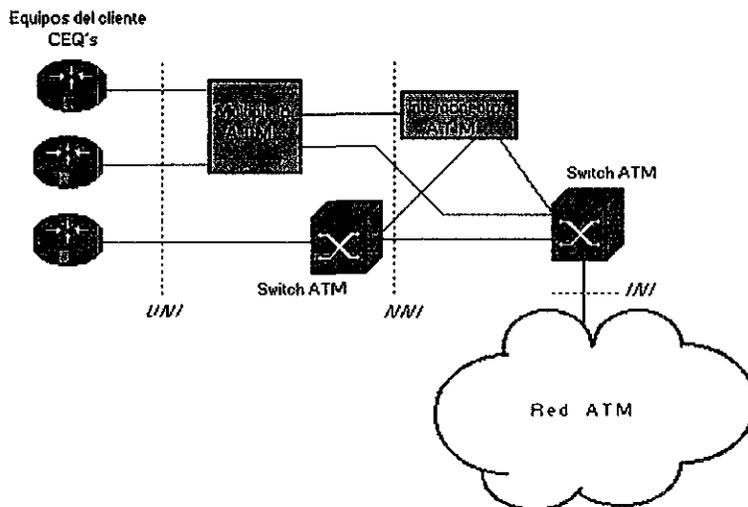


Figura 2.5 Red ATM y sus componentes

UNI

La UNI es un modo nativo de interfaz ATM que define la interfaz entre el equipo del cliente, tal como hubs o routers ATM y la red de área ancha ATM.

La interfaz de usuario de red es la especificación del estándar técnico que permite a un CEQ de varios fabricantes la comunicación a través de la red que a su vez provee otro fabricante. Es la interfaz empleada entre un CEQ y un multiplexor, un switch o algún otro interconector ATM. Esto consiste en una serie de protocolos en capas como se mencionará mas adelante.

Equipo del cliente (CEQ)

Un CEQ es cualquier equipo capaz de comunicarse a través de una red ATM, en un futuro existirá un gran número de equipos capaces de utilizar un gran ancho de banda y otros beneficios de ATM. Actualmente uno de los mas populares son aquellos capaces de soportar aplicaciones de multimedia -dispositivos capaces de brindar a los usuarios simultáneamente la transmisión de video, voz, correo electrónico, datos, mensajes telefónicos, etc, mediante una sola línea al mismo tiempo-. Un CEQ es como un adaptador terminal de banda ancha (B-TA, Broadband terminal adaptor) el cual permite a varios dispositivos comunicarse utilizando una red ATM.

Multiplexor ATM

Un multiplexor es un dispositivo que permite a diferentes canales virtuales de diferentes puertos UNI transportar datos por la misma línea física de transmisión, de esta manera dos o tres usuarios podrán compartir una línea común; regresando a la analogía con el sistema postal, un multiplexor realizaría la misma función de un saco o bolsa (hace mas fácil la tarea de transportar un gran número de mensajes diferentes hacia la estación de envío (Switch) mediante un número de canales virtuales (VPs, Virtual Paths) en un solo contenedor, una ruta virtual)

Interconectores ATM

Un interconector ATM es un dispositivo un poco más complicado que un multiplexor, es análogo a un almacén postal, en donde varios sacos son descargados, clasificados y destinados hacia varias camionetas según su destino. Como en un almacén postal, en donde los sacos de correo esperan cerrados, así la función de un interconector (el interconector de un path virtual) es que deja el contenido de un VP, el canal virtual sin tocar.

Switch ATM

Un switch ATM es el dispositivo más complejo y poderoso en una red ATM. Es capaz no solo de interconectar paths virtuales, si no además de clasificar y switchear el contenido de los canales virtuales. Es equivalente a toda la oficina de clasificación postal, donde los sacos pueden pasar sin ser abiertos o ser vaciados y cada carta ser reclasificada nuevamente. Es el único dispositivo de un nodo ATM capaz de interpretar y reaccionar sobre la señalización del usuario o la red para el establecimiento de nuevas conexiones o de conexiones ya existentes.

Interface de red a red (NNI)

La NNI define la interfaz entre los nodos de las redes (los switches o conmutadores) o entre redes. La NNI puede usarse como una interfaz entre una red ATM de un usuario privado y la red ATM de un proveedor público (carrier).

Una NNI es la interfaz utilizada entre nodos dentro de la red o entre diferentes subredes. Una NNI estandarizada proporciona el alcance para construir una red ATM a partir de nodos individuales provisionados por varios fabricantes. Alternativamente, puede ser utilizado para suministrar una interfaz estandarizada entre redes ATM provisionadas por distintos fabricantes; en este caso NNI se refiere a una Interface red a red (Network-to-Network Interface).

Interface Inter-red (INI)

Una Interface inter-red permite no solamente de intercomunicación, si no también límites operacionales y administrativos entre redes ATM interconectadas. Se encuentra basado en NNI, pero contiene mas implementaciones para brindar una mejor seguridad, control y administración de conexiones inter-transportadoras (Cuando redes de dos diferentes operadores están interconectadas). El foro ATM llama a esta interface B-ICI (Broadband Inter-Carrier Interface).

2.5 Arquitectura básica de ATM.

En la figura 2.6 se muestra un esquema de las capas que conforman el modelo de ATM y también se brinda una breve descripción de sus tres primeras capas, aunque algunas de ellas se analizarán con mayor profundidad mas adelante.

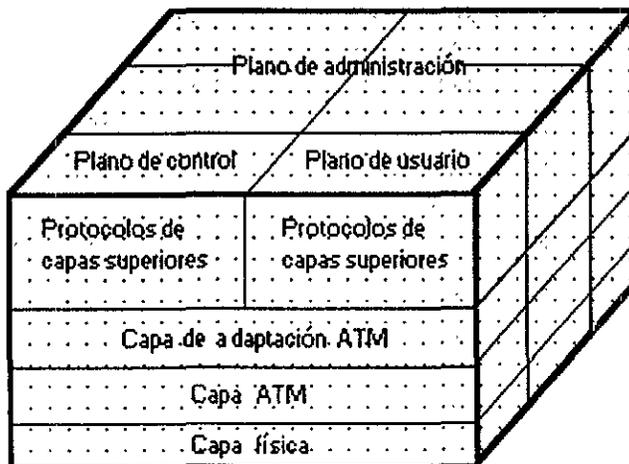


Figura 2.6 Capas de ATM

La capa física (Physical Layer) define las interfaces físicas con los medios de transmisión, el protocolo de trama para la red ATM es responsable de la correcta transmisión y recepción de los bits en el medio físico apropiado. A diferencia de muchas tecnologías LAN como Ethernet, que especifica ciertos medios de transmisión (10 base T, 10 base 5, etc.) ATM es independiente del transporte físico. Las celdas ATM pueden ser transportadas en redes SONET (Synchronous Optical Network), SDH (Synchronous Digital Hierarchy) T3/E3, T1/E1 o incluso en módems de 9600 bps.

La tarea del nivel físico es transportar las celdas ATM de un sistema al siguiente. El estándar del nivel físico define el esquema básico para la transmisión digital de ATM incluyendo señalización, codificación, formatos y capacidades de operación y mantenimiento.

En estos momentos existe un amplio rango de opciones para el nivel físico. Se han acordado estándares para el transporte de ATM sobre SDH y sobre SONET.

Para SDH, las velocidades de transporte de ATM son:

STM-1 a 155 Mbit/s

STM-4 a 622 Mbit/s

STM-16 a 2.4 Gbit/s

Para SONET, las velocidades de transporte de ATM son:

STS-1 a 53 Mbit/s

STS-3C a 155 Mbit/s

STS-12C a 622 Mbit/s

La segunda capa es la capa ATM, en donde se define la estructura de la celda y cómo las celdas fluyen sobre las conexiones lógicas en una red ATM, esta capa es independiente del servicio. El formato de una celda consiste de 5 bytes de cabecera y 48 para información, como se había mencionado anteriormente.

Las celdas son transmitidas serialmente y se propagan en estricta secuencia numérica a través de la red.

Es el nivel que unifica todos los medios de transmisión, este nivel se mantiene a través de todos los accesos y medios de transmisión, por este motivo también se le llama tecnología de cell-relay.

El estándar del nivel ATM (CCITT Rec. Y.361) define las capacidades requeridas para la transmisión de información en este nivel en el modelo para B-ISDN; el estándar define los mecanismos para identificar las características del flujo de información del usuario:

- El camino asignado al usuario a través de la red, camino virtual de conexión (VPC)
- El canal virtual de conexión (VCC) dentro del VPC
- El mecanismo que asegura que el usuario no utilizará más del ancho de banda asignado.

Adicionalmente se tienen capacidades para interpretar las celdas según su tipo (PT), así como los tipos de información de usuario o los mensajes de operación o gestión. El nivel ATM se refiere únicamente a como se ha de interpretar la cabecera de las celdas, con la única excepción de las celdas OAM usadas para la transmisión de información de gestión.

Una de las funciones importantes del nivel ATM es el control de tráfico; en ATM es posible que el usuario pueda enviar más datos de los permitidos en las características iniciales del ancho de banda contratado, esto puede llevar en algunos casos a descartar celdas de otro usuario.

Durante el establecimiento de la conexión, se realiza un acuerdo entre el usuario y la red sobre los parámetros de calidad de servicio, uno de estos parámetros es el ancho de banda requerido por el usuario y la red, la función de control de tráfico puede llegar a descartar celdas de dicha conexión. En el nivel ATM no se realiza ningún tipo de retransmisión de celdas, en todo caso se avisa a los niveles superiores que se han descartado celdas por la aplicación de la función de control de tráfico.

La capa de adaptación ATM (AAL, ATM Adaptation Layer) juega un rol clave en el manejo de múltiples tipos de tráfico para usar la red ATM, y es dependiente del servicio. Su trabajo es adaptar los servicios dados por la capa ATM a aquellos servicios que son requeridos por las capas mas altas, tales como emulación de circuitos, video, audio, frame relay, etc. La ALL recibe los datos de varias fuentes o aplicaciones y las convierte en los segmentos de 48 bytes.

2.6 Capa de adaptación ATM (AAL)

ATM es orientado a conexión, el cual es un método de crear rutas a través de una red switchheada o sea, un mecanismo para establecer una conexión entre dos puntos de la red durante la duración de una llamada. Un servicio no orientado a conexión sería uno en el que el transmisor y el receptor no estuvieran conectados simultáneamente a la red. Volviendo al ejemplo del servicio postal, podría decir que este servicio es no orientado a conexión, ya que el remitente envía su carta y puede estar haciendo cualquier otra cosa el momento en que el destinatario la recibe. Para ser orientado a conexión el destinatario tendría que ser notificado de que se le va a enviar una carta y estar al pendiente en la oficina postal para recibirla, mientras que el remitente esperaría en la oficina postal a ser notificado de que el destinatario la recibió sin ningún problema.

Las conexiones originadas por una red ATM brindan un medio de comunicación flexible para todo tipo de servicio de telecomunicaciones no solo incluyendo a los orientados, si no también a los no orientados a conexión. Estos servicios se encuentran definidos en las recomendaciones F.811 de ITU-T (relación de servicios orientados a conexión) y F.812 (relación de servicios no orientados a conexión).

Existe otra funcionalidad en una red ATM (correctamente llamada capa ATM) para ordenar los diferentes tipos de conexiones orientadas y no orientadas a conexión; Esta funcionalidad es brindada por la capa de adaptación. La capa de adaptación ATM (AAL, ATM Adaptation Layer) define una serie de reglas de como pueden ser utilizadas las celdas de 48-bytes y como pueden ser codificadas.

Estas codificaciones especiales habilitan los dispositivos terminales que están comunicando en la capa ATM para soportar de una manera óptima el tipo de servicio que se está utilizando, según sea el caso.

El objetivo de el nivel de adaptación es enmascarar las características del nivel de transporte de ATM a las aplicaciones de usuario, permitiendo de esta forma ofrecer el mejor servicio posible a los niveles superiores (aplicaciones).

Los diferentes niveles de adaptación se derivan de la existencia de aplicaciones con diferentes requerimiento de red. Estas aplicaciones se agrupan en clases, en función a los criterios siguientes:

1. Si existe una relación temporal entre el origen y el destino.
2. Si el tráfico es constante o variable.
3. Si el servicio está orientado a conexión o no.

Esta clasificación permite tener cuatro tipos de servicios, los parámetros de ellos se encuentran listados en la tabla 2.1. Cada tipo de servicio dio origen a un tipo de AAL propio (desde el 1 al 4), con la particularidad que los trabajos de estandarización acabaron fusionando los tipos 3 y 4 dando como resultado el tipo 3 y una versión simplificada del mismo, el tipo 5.

En la siguiente figura se ilustran los diferentes tipos de servicios al pasar a través de un switch.

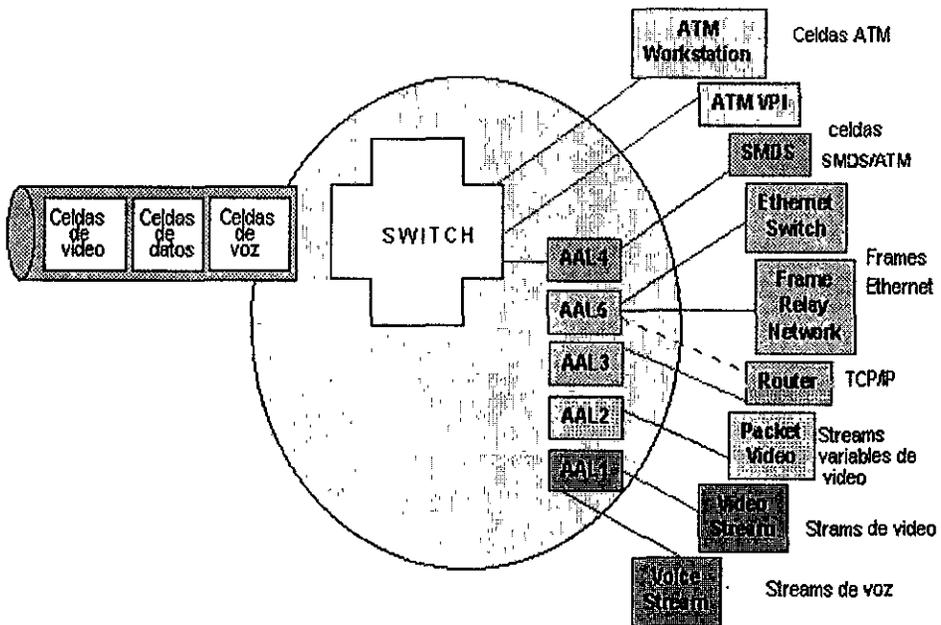


Figura 2.7 Servicios de la capa de adaptación

Cada uno de los tipos de servicios existentes se utilizan para los siguientes tipos de aplicaciones de usuario:

AAL 0. Es el tipo mas sencillo. Se utiliza para el reenvío de celdas, de echo es un AAL vacío.

AAL1. Se utiliza para transportar tráfico en el que es muy importante la relación temporal entre origen y destino. Ejemplos de aplicaciones de este tipo son el transporte de voz codificada en PCM (servicios telefónicos), transmisión de video y la emulación de enlaces punto a punto sobre ATM.

AAL2. Se utiliza para transportar tráfico en el que es muy importante la relación temporal entre origen y destino pero que el tráfico puede ser variable. Ejemplos de este tipo son el transporte de voz y vídeo comprimidos, por ejemplo en MPEG.

AAL 3/4. Es el tipo más complejo puesto que puede transportar tráfico variable tanto con como sin establecimiento de la conexión ATM. Con establecimiento de la conexión estarían aplicaciones que transfieren grandes ficheros de CAD, mientras que sin establecimiento de la conexión se pueden encontrar aplicaciones de conexión de redes locales a través de ATM.

AAL5. Es una versión simplificada del tipo anterior, es un tipo adaptado para la conexión de redes locales a través de ATM y ciertos tipos de servicios de ruteo LAN, un servicio no orientado a conexión que es soportado por este nivel es el correo electrónico.

El nivel de adaptación de ATM es realmente el encargado de adaptar los diferentes tipos de información (paquetes de tamaño fijo o variables, tráfico constante o variable, etc.) procedentes de las aplicaciones de usuario a celdas ATM de tamaño fijo. En el origen, el nivel AAL correspondiente se encarga de "segmentar" la información en celdas, mientras que en el destino el nivel AAL se encarga de "reensamblar" las celdas en el formato adecuado.

Características de transmisión	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
Tipo AAL	AAL1	AAL 2	AAL 3 AAL 5	AAL 3 AAL 5
Relación temporal entre la fuente y el destino	Requerida	Requerida	No requerida	No requerida
Bit Rate	Constante	Variable	Variable	Variable
Modo de conexión	Orientada a conexión	Orientada a conexión	Orientada a conexión	No orientada a conexión

Tabla 2.1

2.7 Canales y Rutas virtuales

Siendo orientado a conexión, una red ATM establece conexiones con el propósito de comunicar a usuarios a través de la red. La conexión establecida entre dos CEQs (customer equipments) a través de la red (capa ATM) es correctamente llamado canal.

A diferencia de las redes telefónicas y de otros tipos basadas en la conmutación de circuitos, los canales de la capa ATM no son cables físicos ni anchos de banda dedicados ; por el contrario los canales se establecen por multiplexación estadística donde un número de canales comparten la misma conexión física y el mismo ancho de banda, sin

embargo para el usuario pareciera que cada uno es independiente del otro y por esta razón son llamados *canales virtuales*.

Un canal virtual (VC, Virtual Channel) es entonces la conexión establecida entre dos CEQs mientras se encuentran en comunicación a través de la red (en la capa ATM).

La terminología pudiera parecer algo confusa, pero la figura 2.8 ayudará a entender un poco más el vocabulario que se definirá más adelante y a comprender en una manera más amplia los conceptos de multiplexores, switches, etc. definidos con anterioridad.

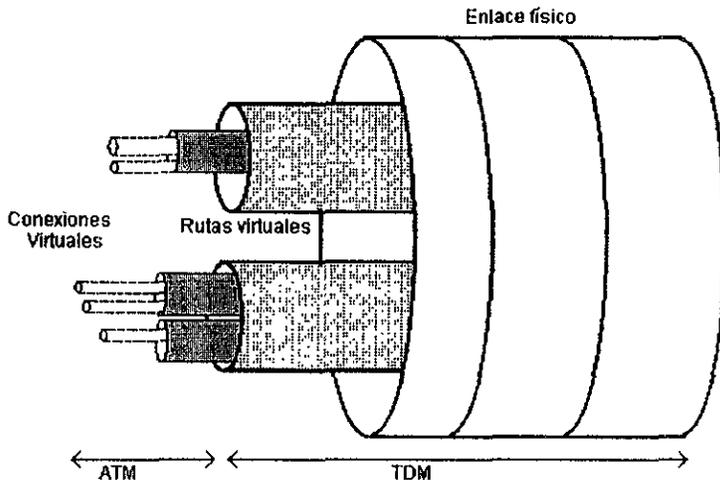


Figura 2.8 Canales y Rutas virtuales

Un canal virtual que abarca toda la red es una conexión de canal virtual (VCC, Virtual Channel Connection). Esta conexión deberá estar compuesta por un número de enlaces de canales virtuales (virtual channel links) que cuando llegan a caerse afectan igual al VCC.

Un enlace de canal virtual es parte de todo un VCC, y tiene en común los mismos puntos finales que una conexión de ruta virtual (VPC, Virtual Path Connection). La función de una ruta virtual (VP) es de suma importancia en el diseño de una red ATM, ya que su principal función es ayudar y desahoga la carga de trabajo de los nodos ATM permitiéndoles manejar varios grupos de canales virtuales. Por lo que una ruta virtual transporta un número de diferentes enlaces de canal virtual, los cuales en sus diferentes caminos deberán estar concatenados con otros enlaces virtuales para formar VCCs.

Así como los canales virtuales, las rutas virtuales pueden ser clasificadas en conexiones de rutas virtuales (VPCs, Virtual Path Connections) y en enlaces de rutas virtuales, donde un VPC es constituido por la concatenación de uno o mas enlaces de rutas virtuales; y un enlace de ruta virtual es derivado directamente de una ruta de transmisión física.

Todos los canales virtuales en una red ATM (llámense VCCs o VPCs) pueden ser clasificados en circuitos virtuales switcheados o permanentes. Un circuito virtual permanente (PVC, Permanent Virtual Circuit) es establecido por el operador de una red mediante un comando manual y es un circuito permanentemente conectado entre los dos mismos (o mas) puntos o nodos finales. Un circuito virtual switcheadado (SVC, Switched Virtual Circuit) es análogo a una conexión cuando se establece una llamada telefónica, se establece un SVC cuando hay petición de una llamada hacia el destino solicitado mediante la marcación del número (o dirección).

2.7.1 Identificadores de canal y de rutas virtuales.

Como se ha mencionado anteriormente, las conexiones son establecidas como canales virtuales, los cuales incluyen pequeñas secciones llamadas rutas virtuales, las cuales se encuentran concatenadas de extremo a extremo. Todos estos canales y rutas virtuales son *identificados* por números de referencia transportados por la cabecera de la celda de conexiones activas. Estos números de referencia son llamados identificadores de canal virtual (VCI, Virtual Channel Identifiers) e identificadores de rutas virtuales (VPI, Virtual Path Identifiers), respectivamente.

Una conexión física debe estar subdividida en un número diferente de rutas virtuales, cada una con un VPI único. Cada una de estas rutas debe estar a su vez subdividida en un número de canales virtuales cada uno con un VCI único. Estos son los canales virtuales que son concatenados para establecer una conexión entre CEQs.

Para especificar un canal virtual sin una conexión física particular, deben estar declarados un VPI y un VCI, ya que mientras que los VPIs son únicos para cada interface los VCIs no lo son, pero la combinación VCI/VPI es única y suficiente para identificar una conexión activa en una interface (en una misma conexión física, por ejemplo). Para cada ruta virtual la numeración de los canales virtuales debe empezar en '1'.

A continuación se muestra un diagrama de como se verían las rutas y canales virtuales, así como sus identificadores.

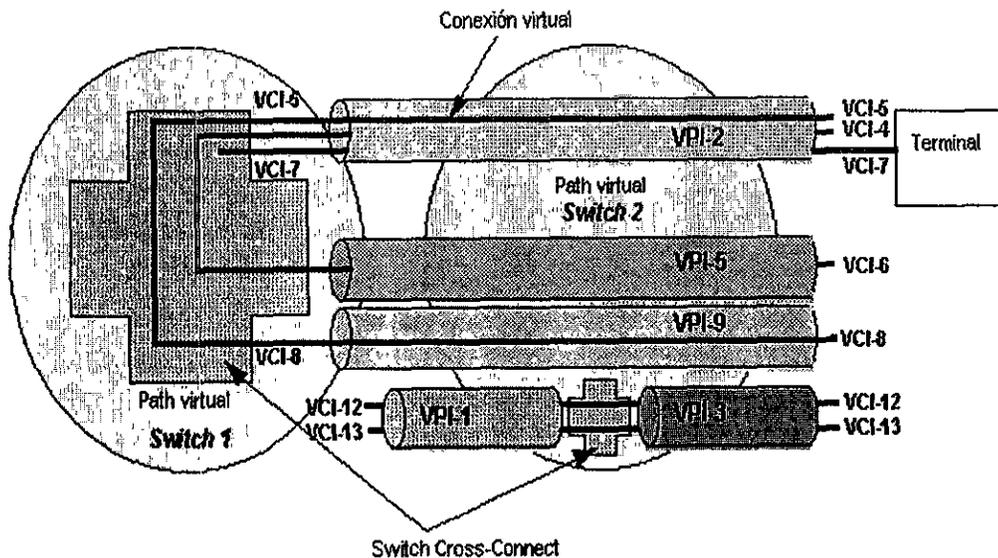


Figura 2.9. Identificadores de rutas y canales virtuales.

Como se ha visto, la función de los multiplexores, switches y crossconnects es la de enlazar varias secciones de canal para switchear VCs e interconectar VPs.

Un multiplexor permite combinar diferentes canales virtuales de rutas virtuales diferentes en una sola ruta virtual. De tal forma que los canales virtuales transportados por los enlaces físicos son combinados en una misma ruta virtual transportada por el enlace físico. De esta dispositivos de usuarios finales utilizan canales virtuales diferentes (con diferentes VCs) que son conectados a switches remotos por medio de una sola conexión física y un multiplexor ATM.

Un switch ATM, debe ser capaz no solo de interconectar rutas virtuales, si no también de traducir los VPIs que se encuentran en las cabeceras de las

celdas, de switchear canales virtuales entre diferentes rutas virtuales. Requiere adicionalmente la habilidad de procesar y traducir los VCIs contenidos en las cabeceras de las celdas. Su buen desempeño depende de un procesamiento rápido de VPIs y VCIs, por lo que es un dispositivo bastante caro.

3

ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE SWITCHEO

Una red compleja está formada por unidades de switcheo interconectadas, el papel de un switch es la de establecer una conexión entre un puerto de entrada y uno de salida de acuerdo a la información de ruteo. Antes de describir las limitaciones específicas de ATM, se describirán los principios y limitaciones de los modos convencionales de switcheo.

3.1 Descripción

De una manera general, un switch ATM tiene un conjunto de puertos de entrada y salida a través de los cuales el switch está interconectado a los usuarios, a otros switches y a otros elementos de la red. Además de los puertos de entrada y salida el switch debe tener otras interfaces para el intercambio de información para el control y administración de la red.

El switch provee solo servicio de "relevo de celdas" (cell relay) y soporta las funciones necesarias para el control y administración relacionadas al servicio.

En la práctica, el switch también debe desempeñar funciones de interworking¹ para soportar varias interfaces de servicios específicos para circuitos de banda limitada, frame relay y otros servicios. Para el propósito de este estudio se asume que las interfaces del switch son las estándares UNI o NNI (SONET/SDH); cabe mencionar que los temas relacionados a interfaces de servicios específicos e interworking no serán cubiertos en este trabajo, ya que debido a su extensión e importancia merecerían un trabajo completo.

Por último se explicarán los tres planos o superficies del protocolo de referencia B-ISDN. Los tipos correspondientes de flujo de información

¹ Interworking: Relación, interacción y compatibilidad con diferentes tipos de redes

(datos de usuario, de control -señalización- y de administración) tienen diversos propósitos en una red ATM por lo que necesitan diferentes requerimientos, es por esto que se consideran requerimientos adicionales impuestos en el switch por funciones para el control de tráfico. Estos requerimientos son examinados para identificar todos los bloques funcionales en la arquitectura de un switch ATM.

3.2 Técnicas de switcheo

3.2.1 Conmutación de circuitos (Circuit switching)

La técnica conocida como 'switcheo por división de espacio' consiste en enlazar físicamente un puerto de entrada de la unidad de switcheo hacia uno de sus puertos de salida durante el tiempo que dura la comunicación (por ejemplo, una llamada telefónica). Esta técnica presenta un retardo muy corto y constante debido a que el switch no almacena la información.

El switcheo síncrono por división de tiempo utiliza ranuras (slots) de tiempo asignadas a los canales que están siendo switcheados. Funciona con soportes físicos que son multiplexados por división de tiempo de acuerdo a una estructura de frame de un tamaño determinado. La información correspondiente a la entrada de una ranura de tiempo multiplexada es almacenada temporalmente y después entregada en intervalos regulares en un frame equivalente, pero en una ranura de tiempo diferente hacia una o más salidas multiplexadas escogidas por el switch. La correspondencia entre las ranuras de tiempo de los multiplexores (las cuales switchean entre los canales de entrada y salida) es independiente del uso de los canales y además, los rangos de bit no dependen de las fuentes de información, pero sí de las características de sistema de multiplexaje que está siendo utilizado (bit rate, estructura del frame, etc.).

3.2.2 Conmutación de paquetes (Packet switching)

Este es un caso del switcheo por división de tiempo síncrono: los paquetes conformados por bloques de datos acompañados de un indicador en el encabezado, son recibidos en la entrada de los enlaces de los switches a una velocidad que depende del origen. Cada paquete es almacenado y después entregado al enlace de salida determinado por la información de ruteo contenida en la tabla. El registro accesado en la tabla depende del valor del indicador. El tiempo de almacenamiento y el tiempo que el paquete se retarda es variable debido al comportamiento estático de recursos.

Una característica de un servicio de datagrama es el hecho de que los paquetes son independientemente switcheados de acuerdo a sus direcciones de destino explícitas, y que ninguna marcación previa es necesaria. En contraste, en el caso de un tipo de servicio de 'canal lógico' donde la secuencia de paquetes debe ser mantenida, la técnica usada consiste en hacer los paquetes para una conexión dada siguiendo la misma ruta, identificada por una serie de indicadores. En la práctica, debe haber las más rutas posibles entre un punto de entrada y un punto de salida dados.

La función del switcheo es usualmente llevada a cabo por el software; otras funciones como el control de flujo y retransmisión de errores debe ser tomada por el mismo procesador o ser dejadas en las entradas. El performance normal es de varios cientos de paquetes conmutados por segundo, con una velocidad global de varios Mbits/s, y el retardo es en el orden de 10 o 100ms.

Las características requeridas para una unidad de switcheo ATM son completamente diferentes:

- Velocidades muy altas con un rango global de varios Gbits/s.
- Varios millones de celdas switheadas por segundo.

- Debe existir un retraso muy pequeño y estable (menos de 1ms) para ofrecer emulación de circuitos.
- Debe existir un rango muy bajo de pérdida de celdas.

Esto se logra únicamente utilizando hardware altamente paralelo; el cual debe estar conformado por varios componentes de switcheo idénticos, organizados en una estructura multinivel.

3.3 Funciones de un Switch ATM

Además de analizar y modificar el header (nuevos valores de VPI/VC1) un switch ATM brinda dos funciones principales:

- Rutear las celdas a los puertos de salida apropiados.
- Almacenar temporalmente las celdas.

La unidad de switcheo debe también varios flujos paralelos de celdas diferenciados por niveles de prioridad y brindar un manejo preferencial para celdas de alta prioridad (por ejemplo, la implementación de colas para cada nivel de prioridad).

Finalmente, ciertos servicios ATM requieren del broadcast² de las celdas que vienen del mismo origen, broadcast hacia todos los destinos o multicast³ hacia un conjunto predeterminado de destinos. Es claro que el origen por sí mismo podría brindar distintas copias de cada una de las celdas para ser broadcast, pero estas copias serían ruteadas por diversos flujos independientes, lo que llevaría a una pérdida de ancho de banda y a que el origen debiera conocer la lista completa de direcciones de destino.

² **broadcast:** Consiste en enviar un mensaje o información de un host hacia todos los integrantes o hosts de la red.

³ **multicast:** Solo envía dicho mensaje a un cierto grupo de la red

Un método mas eficiente es mover el punto donde las celdas son duplicadas tan lejos como sea posible, utilizando un punto muy particular de información (la dirección de broadcast), un switch ATM debe ser capaz de reproducir la misma celda hacia varios puerto de salida.

Como se muestra en la figura 3.1, el encabezado es normalmente manejado por el adaptador de entrada de la unidad la cual es responsable de recobrar el flujo de celdas válidas de los enlaces de entrada. El almacenamiento temporal de las celdas toma lugar en la entrada y/o salida de los adaptadores, pero debe ser también centralizada en el switch.

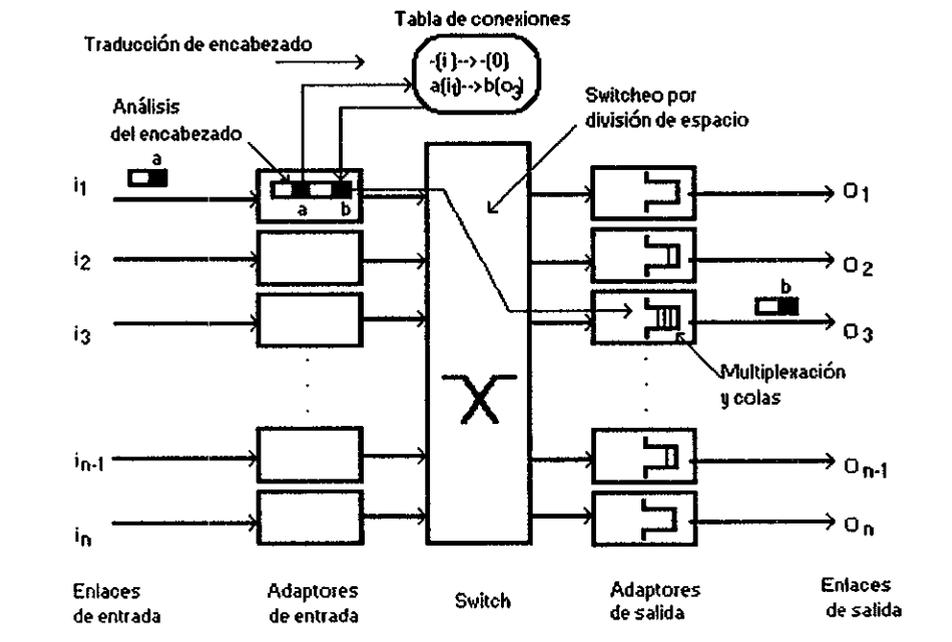


Figura 3.1 Funciones principales de un switch ATM

3.4 Ruteo de celdas

Generalmente la conexión entre un puerto de entrada y uno de salida, la cual determina la ruta a través del switch, debe ser previamente conocida y almacenada en la tabla de conexiones. Esta información debe ser mantenida como una marca que establece una ruta específica para la transferencia de celdas en una conexión determinada (ruteo indirecto), o como una etiqueta que cuando es añadida a las celdas a ser transferidas les permite direccionarse por sí mismas hacia el puerto apropiado de salida (ruteo directo).

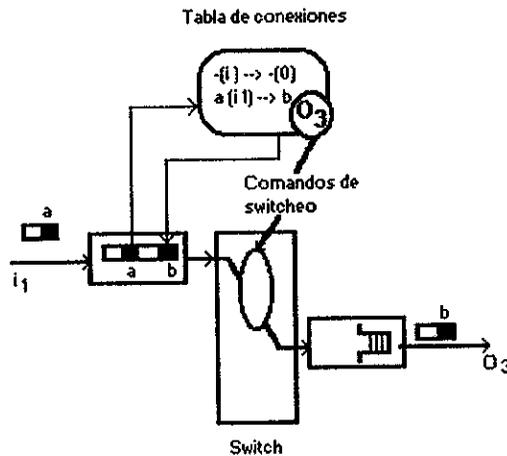


Figura 3.2 Ruteo indirecto en un switch ATM.

Debido a que el servicio ATM es orientado a conexión, el modo natural de ruteo es indirecto: cada encabezado de la celda contiene un puntero (VPI/VCI), del cual su valor identifica la conexión y el cual tiene solamente un significado local. La ruta correspondiente a esa conexión debe ser explícitamente escrita a cada componente de switcheo antes de que cualquier información sea transferida. Las celdas son entonces

ruteadas hacia el puerto de salida apropiado mediante la consulta de la tabla; por cada valor VPI/VCI existe un puerto de salida correspondiente y un nuevo valor de puntero como se muestra en la figura 3.2. Potencialmente, la tabla puede ser muy larga ya que cada conexión es identificada por un cabecera de 24 o 28 bits.

Una forma de implementar este ruteo al costo de un overhead, consiste en utilizar ruteo directo, en la entrada de cada unidad de switcheo (especialmente si esta formada de varios componentes de switcheo) se añade una etiqueta de ruteo a cada celda; la cual describe la ruta física que las celdas deben tomar, la cual es en la forma de una lista de indentificadores de los componentes de switcheo que deben cruzar y los puertos de salida que deben utilizar (figura 3.3).

Todas la celdas relacionadas a una misma conexión siguen la misma ruta y son entregadas a el destino en una sola secuencia. Los componentes de switcheo no las marcan ya que la ruta es *explícitamente escrita en cada etiqueta*. La información que ha sido utilizada es movida del contenido de la etiqueta (algunas veces llamada 'etiqueta consumible') mientras la celda pasa por la unidad de switcheo (en lugar de borrar parte de la etiqueta, un puntero señala que lo que queda puede ser modificado).

3.4.1 Almacenamiento temporal de las celdas

En ciertos equipos existe un riesgo en los bloques internos debido a que no siempre es posible establecer una ruta entre un puerto de entrada y un puerto de salida disponible. Es natural pensar que para evitar pérdidas de velocidad inaceptables, se necesitan dispositivos de almacenamiento en las entradas o en el interior de las unidades.

De cualquier forma, si se utiliza un switch sin-bloques, las celdas tienen que ser almacenadas temporalmente para resolver su conexión de

salida. En la práctica, debido a la naturaleza estadística de el tráfico presente, varias celdas recibidas de diferentes puertos de entrada pueden estar en competencia para acceder simultáneamente a el mismo puerto de salida.

Existen dos métodos clásicos la localización de las colas, encolamiento de entrada o de salida en el switch. Existen otros, pero la mayoría de ellos son variantes o combinaciones de estos dos.

El siguiente párrafo describe estos métodos utilizando cierta hipótesis:

- La unidad de switcheo es del tipo $N \times N$
- Los flujos de entrada son independientes y estadísticamente idénticos, son uniformes y cada celda tiene la misma probabilidad de $1/N$ de tener un punto de salida determinado como destino.

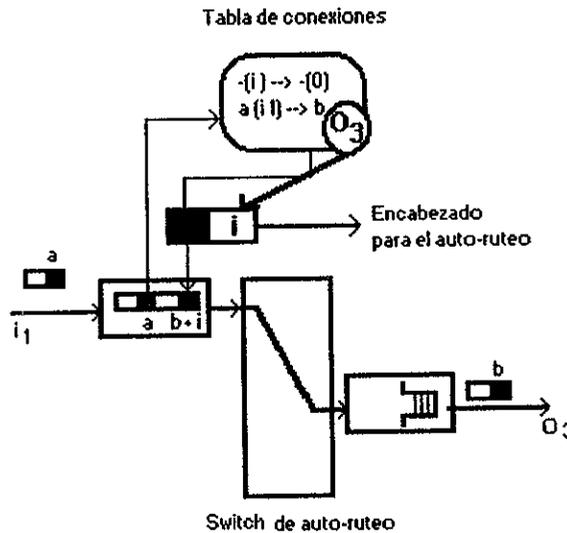


Figura 3.3 Autoruteo en un switch ATM.

3.4.2 Encolamiento de entrada

Una cola FIFO (first in first out) se encuentra asociada a cada puerto de entrada. Una competencia es detectada si las celdas j ($j \leq N$) que se encuentran a la cabeza de la cola son llevadas por la misma salida. Esto es natural, ya que la disputa es detectada antes de que llegue al switch y solo suministra a las celdas que pueden alcanzar su destino (figura 3.4). Sin embargo, todas las celdas más atrás en las colas $j-1$ que no son atendidas son obstruidas aun si son destinadas a puertos que se encuentran libres en ese tiempo.

Este efecto de obstrucción de cabeza de fila (HOL, Head of Line) limita el performance del encolamiento de entrada.

El método de encolamiento de entrada no es apto para funciones de broadcast ya que no existen colas de salida, es muy susceptible al tráfico de entrada no uniforme. Por otro lado, tiene la ventaja de ser muy simple y no necesita de una velocidad de operación mayor que la de acceso.

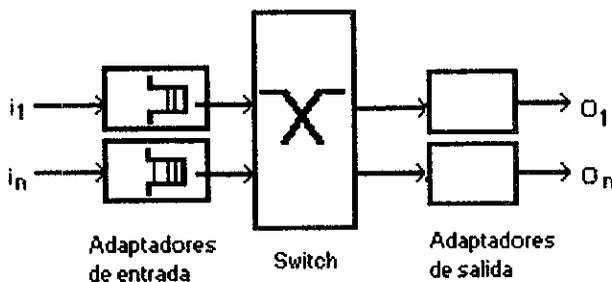


Figura 3.4 Encolamiento de entrada de celdas

3.4.3 Encolamiento de salida

En este caso, una cola FIFO es asociada a cada puerto de salida. Todas las celdas que se encuentran en los puertos de entrada en cualquier tiempo, cruzan el switch al mismo tiempo y después son almacenadas. Como todas tienen el mismo destino la cola asociada a el puerto de salida debe ser capaz de almacenar N celdas.

pueden ser usadas si la velocidad interna del switch es N veces mayor a la velocidad de los puertos. Por el contrario, un alto grado de paralelismo permitirá un almacenamiento en colas multipuerto sin requerir de la operación una velocidad más alta del switch que la de acceso. En ambos casos si las colas son de tamaño ilimitado, el uso del switch es optimizado y no requiere de un encolamiento de entrada ya que no habrá obstrucciones. Esta técnica es conveniente para funciones de broadcast y no es afectada por el tráfico de entrada no uniforme; sin embargo su implementación es muy compleja.

En términos de la velocidad de bits (bit rate) o del retardo, puede ser probado que el performance es prácticamente estable una vez que las colas de salida son tan largas que contienen 10 celdas, ya que como estadísticamente se encuentra las ráfagas destinadas para cierto puerto son de duración limitada. Sin embargo, la pérdida de velocidad por el sobreflujo no es insignificante, lo que significa que las colas suplementarias de entrada necesitan ser instaladas (figura 3.5) , el tamaño de estas colas depende de las características reales del tráfico y la pérdida de velocidad admisible.

Una señal de congestiónamiento (backpressure)⁴ es utilizada para mantener las celdas encoladas en la entrada cuando las salidas de las

⁴ backpressure: Término utilizado cuando se genera un congestiónamiento de información sobre la entrada o salida de un switch.

colas se encuentran llenas. A este efecto se le conoce como obstrucción HOL (HOL blocking).

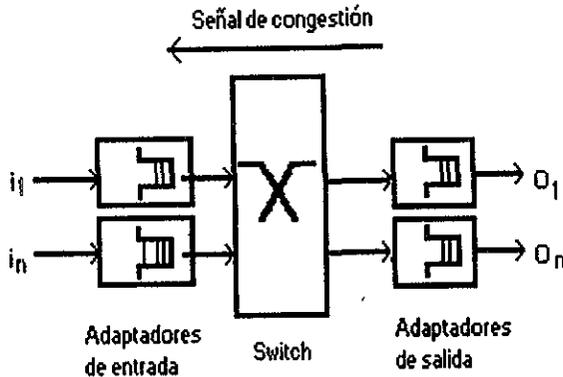


Figura 3.5 Encolamiento de salida (encolamiento de tamaño limitado)

Una interesante mejora consiste en considerar todas las colas de salida que están limitadas en tamaño como sólo un grupo de buffers que son destinados dinámicamente (figura 3.6).

Utilizando un almacenamiento centralizado como este, se reduce el monto de almacenamiento necesario para el mismo nivel de performance en un factor de 3 o 4 comparado con la técnica de colas de salida dedicadas. Un puerto con sobrecarga puede utilizar temporalmente varios buffers que estadísticamente reducen el uso de buffers de entrada suplementarios. Este efecto de multiplexación estadística se vuelve mas marcado si el número de puertos N aumenta.

3.5 Tipos de switches

Los switches ATM pueden dividirse en dos categorías de acuerdo a sus arquitecturas: switches con recursos compartidos y switches con división de espacio.

3.5.1 Switches con recursos compartidos

Este tipo de switches se basan en el principio de la multiplexación de todas las corrientes o flujos de entrada con una gran capacidad de recursos compartidos.

Algunos switches organizados alrededor de una memoria compartida son beneficiados de las ventajas de el almacenamiento temporal descrito anteriormente. La administración de la memoria centralizada es compleja y su ancho de banda es muy extenso lo que significa que un grado muy alto de paralelismo tiene que ser implementado para superar las limitaciones tecnológicas.

Otros utilizan un medio compartido para conectar los puertos de entrada hacia las colas asociadas con los puertos de salida. El medio es usualmente un bus o un anillo que transfiere varios bits en paralelo.

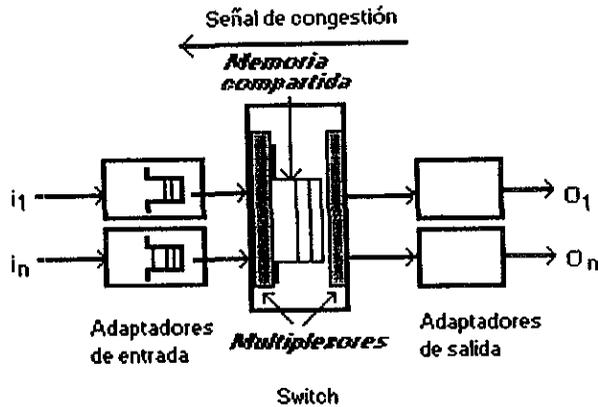


Figura 3.6 Encolamiento centralizado de celdas.

3.5.2 Switches con división de espacio

Los switches de esta categoría son caracterizados por la coexistencia simultánea de rutas entre los puertos de entrada y salida.

En el caso de los switches crossbar con N entradas y N salidas tiene N^2 puntos de cruce y no hay obstrucción interna: siempre es posible establecer una ruta entre un puerto de entrada y un puerto de salida desocupado. La conexión de salida es resuelta mediante el encolamiento de entrada o el encolamiento los puntos de cruce por sí mismos. Esta última técnica es similar a el encolamiento de salida distribuido con la desventaja que la capacidad del almacenamiento global no puede ser compartida dinámicamente.

Los switches del tipo Banyan tienen la ventaja de que solo requieren $(N/2) \cdot \log_2 N$ componentes de switcheo para formar una matriz de N entradas y N salidas. Por ejemplo, una matriz de 8×8 requiere de 12 componentes organizados en tres plataformas de cuatro componentes cada una. Estos son del tipo 2×2 que pueden conectar cada entrada a

una de dos salidas dependiendo del bit de destino de la celda (auto-ruteo). Sin embargo, los switches de este tipo pueden obstruirse internamente ya que existe solo una ruta entre una entrada y una salida determinada y puede haber disputas para el uso del enlace interno.

El encolamiento de entrada convencional y el encolamiento dentro de los componentes del switch son posibles, pero también puede ser demostrado que una red de Banyan no bloqueará si sus entradas son ordenadas en relación a sus salidas, inclusive si no hay más que una celda por puerto. Esta función de ordenamiento puede ser llevada a cabo por una red switchheada suplementaria (red Batcher) localizada en frente de la red Banyan.

Una técnica para la resolución de una conexión de salida cuando varias celdas son dirigidas a el mismo puerto, consiste en solo dejar una y enviar las otras de regreso a la entrada para ordenarla otra vez.

3.6 Consideraciones para el plano de usuario

Como se representa en la capa de ATM del protocolo de referencia B-ISDN la función principal de un switch es la de conducir las celdas de datos de usuario, de sus puertos de entrada a los puertos de salida apropiados. La información de las celdas es transportada transparentemente por la red ATM y es después cuando son recibidas en los puertos de entrada que el switch procesa solamente las cabeceras de las celdas. La información de VPI/VCI derivada de las cabeceras es utilizada para rutear dichas celdas por medio del switch hacia los puertos de salida correspondientes, es decir, son preparadas para su transmisión a la capa física.

Este servicio (cell relay) implica tres funciones distintas: Primero, las celdas que son recibidas por los módulos de entrada (IMs, Input Modules) en los puertos de entrada del switch, se preparan para ser

ruteadas por el switch propiamente (Cell Switch Fabric, CSF). Finalmente las celdas son preparadas para su transmisión a través de los módulos de salida (OMs, Output modules) localizados en los puertos de salida.

Estos tres elementos (IMs, CSF y OMs) conjuntamente llevan a cabo el ruteamiento básico de las celdas y regulación requeridos para las funciones de un switch ATM.

Los mismos elementos con un proceso adicional son utilizados para manejar el flujo de la información de control y mantenimiento relacionada a la capa ATM.

3.7 Consideraciones para el plano de control

El plano de control realiza funciones relacionadas al establecimiento y control de los VPCs/VCCs switcheados. Este plano consta de un AAL de señalización arriba de la capa ATM y de la capa física. La información de conexión-control es transportada en celdas de señalización identificadas por su campos VPI/VCI. A diferencia de las celdas de datos de usuario, la información que contienen las celdas de carga útil (payload) y señalización no son transparentes para la red; la información de señalización debe ser procesada e interpretada por el switch ATM. Por lo tanto, el switch debe identificar las celdas de señalización que entran, separarlas de las celdas de datos de usuario y realizar las funciones AAL para interpretar la información de señalización. Si el switch genera información de control, la encapsula en celdas de señalización que son mezcladas con el tráfico de las celdas de datos de usuario que van saliendo.

El flujo de la información de señalización se representa en la figura 3.7(a) Debido a que las celdas de señalización utilizan el mismo transporte de la capa ATM (también las celdas de datos de usuario) fluyen por los mismos módulos de entrada y salida, así como del switch

propriadamente; pero además la información es procesada por un bloque que se representa como CAC. En la figura 3.7(a) se asume que la información de señalización es ruteada de y hacia el CAC por el switch, pero esto no es necesario utilizar el CSF. Por ejemplo en la figura 3.7 (b) la información de señalización debe pasar directamente del módulo de entrada al CAC y de éste al módulo de salida.

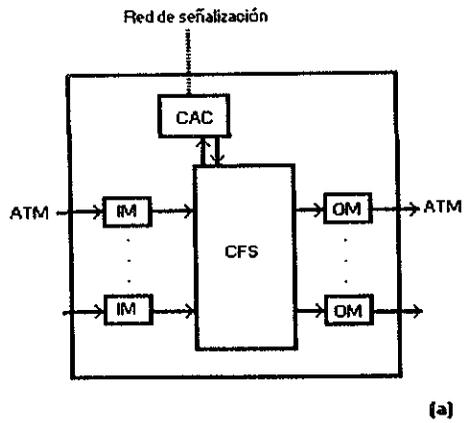
Alternativamente la información de control debe ser intercambiada a través de una red señalizada, en este caso el CAC tiene una interface a la red de señalización como se muestra en la figura anterior.

3.8 Consideraciones del plano de administración

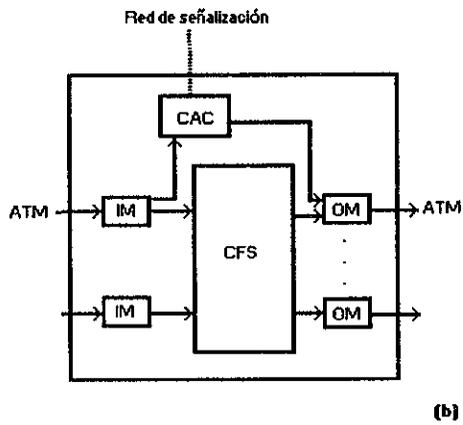
En el plano de administración se llevan a cabo funciones de monitoreo y control de la red ATM para asegurar una operación correcta y eficiente.

Este plano se encuentra constituido por la administración del plano y por la administración de la capa ATM, aunque todavía no son definidas como estándares. De los estándares existentes y del trabajo en proceso, las funciones de administración requeridas en un sistema de switchero ATM pueden ser identificadas a grandes rasgos como:

- **Fault management:** Para detectar, aislar y reportar fallas en el switch.
- **Performance management:** Para monitorear, evaluar y reportar constantemente el estado de los componentes del switch.



(a)



(b)

Figura 3.7 Flujo de información (a) utilizando el csf y (b) sin usar el CSF.

- **Configuration management:** Para activar y desactivar componentes del switch para entrar o salir de servicio.
- **Security management:** Para regular y controlar el acceso a la base de datos del switch.
- **Accounting management:** Para medir el uso de los recursos del switch para el cobro de servicios.
- **Traffic management:** Para monitorear y regular el tráfico, para poder prevenir y controlar congestión.

Todas estas funciones son responsabilidad del bloque representado como SM (System Management) en la figura 3.8. La mayor responsabilidad del SM es el soporte de operación y mantenimiento de la capa ATM y el cumplimiento de la administración. Estas funciones implican el flujo de las celdas de operación y mantenimiento (OAM, Operation and Maintenance) identificadas por sus campos de VPI/VCI o tipo de carga o información (payload type); como en las celdas de señalización la información contenida en las celdas de operación y mantenimiento deben ser reconocidas y procesadas por el switch ATM. El switch debe identificar las celdas OAM que entran, separarlas de otras celdas (si es apropiado) y desarrollar el proceso necesario para soportar los procedimientos de operación y mantenimiento de la capa ATM. En el proceso OAM el switch debe generar celdas OAM y mezclarlas con el flujo de las celdas de datos de usuario.

Existe una responsabilidad mayor para el SM, y es la de soportar el ILMI⁵ (Interim Local Management Interface) para cada UNI. El ILMI permite a los usuarios tener información del status y control de los VPCs/VCCs de su UNI. Por cada UNI, el SM tiene una entidad de

⁵ **ILMI:** Interim Local Management, se encuentra basada en el protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol) y se utiliza para la administración de los PVCs en ATM.

administración UNI (UME, UNI Management Entity), la cual monitorea los objetos descritos en la base de información de administración de un UNI ATM estandarizado. Cada dispositivo de usuario contiene un UME, de hecho UMEs adyacentes pueden comunicarse uno con otro mediante el UNI por medio de mensajes SNMP transportados en las celdas ILMI, identificados por sus campo VPI/VCI.

De manera similar, las celdas ILMI siguen el flujo hacia los módulos de entrada, el CFS, módulos de salida y SM, solo que aquí el switch rutea celdas ILMI de y hacia el SM, donde el UME interpreta y responde a los mensajes SNMP encapsulados.

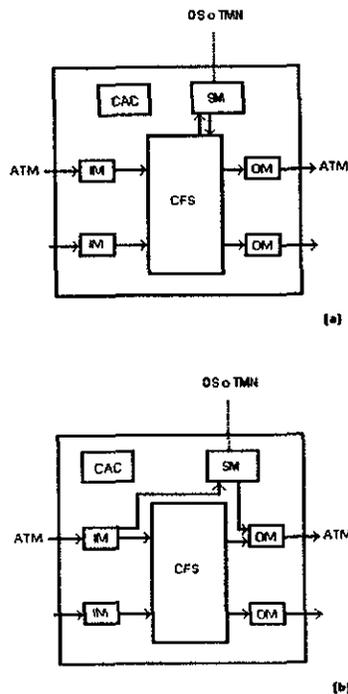


Figura 3.8 Flujo de información de administración (a) utilizando el CFS y (b) si utilizar el CFS

3.9 Resumen de las funciones en un switch

Por último muestro un resumen de las funciones de cada uno de los bloques concernientes en un switch:

Módulos de entrada

En cada puerto de entrada la primera función de un módulo de entrada es la terminación de una señal SONET y la extracción de una celda ATM. Básicamente abarca:

- Conversión de una señal óptica a una eléctrica.
- Recuperación del bitstream digital.
- Procesamiento del overhead SONET.
- Delineación de celda.
- Decoplamiento de celdas (descartando las celdas vacías)

Las celdas deben ser preparadas para rutearse a través del CSF, lo que requiere:

- Chequeo de error en la cabecera de la celda utilizando el campo HEC
- Validación y traducción de los valores de VPI/VCI.
- Determinación de el puerto destino de salida.
- Posible ordenamiento de celdas de señalización para rutearlas al CAC.
- Posible ordenamiento de celdas de administración para rutearlas al SM.
- Añadir una etiqueta interna.

En los módulos de entrada debe añadirse una "etiqueta" interna a cada celda y ser removida en los módulos de salida. Debe contener dos tipos de información: Ruteo interno y housekeeping, la de ruteo interno

contiene campos relacionados a la destinación del puerto de salida, tolerancia de pérdida, prioridad de retardo, límite máximo de retardo, identificador de la conexión broadcast/multicast. La de housekeeping debe contener campos para el identificador del usuario fuente, número de secuencia de la celda, tipo de celda y chequeo de errores para la celda de información.

Existen otros campos útiles, mas sin embargo debido a que la etiqueta solo es manejada en el switch, sus contenidos pueden variar según la consideración del diseñador.

Módulos de salida

Los módulos de salida llevan a cabo muchas de las funciones de los módulos de entrada pero inversamente, sin embargo son mas simples debido a que su principal responsabilidad es preparar las cadenas de celdas ATM para su transmisión física. Algunas funciones específicas son:

- Procesar y remover la "etiqueta" de cada celda.
- Traslado de los valores de VPI/VCI.
- Generación e inclusión del HEC (Head Error Control) en los encabezados de las celdas.
- Decoplamiento de celdas (añadiendo celdas vacías).
- Conversión de las cadenas de bits (bitstreams) digitales a señales ópticas.

Fábrica de Celdas del switch (CSF, Cell Switch Fabric)

En general, la fábrica de celdas del switch es responsable de transferir las celdas hacia los otros bloques en el switch, en particular las celdas de datos de usuario deben ser ruteadas de los módulos de entrada a los módulos de salida. Es factible también utilizar la CSF para rutear celdas de señalización y celdas de administración hacia el CAC o SM a través de puertos especiales. Sin embargo no es necesario utilizar la

CSF si los módulos de entrada y salida tienen rutas directas hacia el CAC o SM ya que los módulos de entrada son quienes tienen la responsabilidad de ordenar la salida de las celdas y enviarlas al CAC o SM.

Además de rutear, existen otras funciones que desempeña la CSF:

- Amortiguación de las celdas.
- Concentración del tráfico y multiplexación.
- Redundancia para la fallas de tolerancia.
- Multicasting o broadcasting.
- Ordenamiento de celdas basado en retardo de prioridades.
- Descartamiento selectivo de celdas basado en la pérdida de prioridades (loss priorities).

CAC (Connection Admission Control)

El CAC desempeña todas las funciones relacionadas al establecimiento, modificación y terminación de las conexiones al nivel de las rutas y canales virtuales (VP y VC), es responsable de:

- Protocolos de señalización de capas superiores.
- Funciones de señalización AAL para interpretar o generar celdas de señalización.
- Interface con la red de señalización.
- Negociación de tráfico con usuarios negociando nuevos VPCs/VCCs.
- Renegociación con usuarios para cambiar VPCs/VCCs establecidos.
- Asignación de los recursos del switch para los VPCs/VCCs, incluyendo la selección de la ruta.
- Decisión para la admisión o rechazo para las peticiones de VPCs/VCCs.

Sistema de administración (SM, System Management)

Este sistema es complejo debido a que tiene varias responsabilidades importantes, además cada una de las que a continuación se mencionan tienen otras funciones más específicas.

- Operación y mantenimiento (OAM) de la capa física.
- Operación y mantenimiento de la capa ATM.
- Configuración para la administración de los componentes del switch.
- Control de seguridad para la base de datos del switch.
- Administración del tráfico.
- Administración del control de la información de la base.
- Interface con sistemas de operación o TMN (Telecommunications Management Network)
- Soporte de una red de administración.

4

Estructura de celdas

4.1 Historia

Durante el período de 1984 a 1988 el ITU-T¹ y otros grupos de estandarización establecieron una serie de recomendaciones para la transmisión, conmutación, señalización y técnicas de control necesarias para el desarrollo de una red inteligente basada en fibra óptica. Durante este período se forjaron las bases para el desarrollo de la red de servicios integrados de banda ancha (B-ISDN), sobre jerarquía digital sincrónica (SDH) y ATM.

La primera decisión que se debía tomar para el desarrollo de ATM era si las celdas debían de ser de tamaño fijo o variable. La decisión final fue celdas de tamaño fijo puesto que esto permite mayor velocidad de conmutación y hace más predecible la variación de retardo, lo cual es muy importante para servicios que requieren transmisión constante de bits (CBR) como por ejemplo el video. Una de las desventajas del tamaño fijo de las celdas es el incremento de overhead necesario para adaptar paquetes de tamaño variable en celdas de tamaño fijo, sin embargo esta desventaja se vería absorbida por la alta capacidad de la red.

La segunda decisión que se debía tomar era la longitud de las celdas, esta decisión era tremendamente importante puesto que el llegar a un acuerdo en el tamaño de las celdas tenía que permitir el desarrollo de servicios de banda ancha de ámbito mundial. La razón principal por la que había diferentes puntos de vista respecto a el tamaño de las celdas era que existían diferentes filosofías en varios países en la aplicación inicial del ATM.

En los Estados Unidos de Norte América se pensaba que las aplicaciones para ATM debían soportar celdas relativamente grandes de 64 bytes para datos y una cabecera de 6 bytes. Sin embargo algunos países de Europa

¹ ITU-T: Organismo internacional de estandarización, para mayor referencia dirigirse al apéndice A

eran partidarios de cabeceras entre 2 y 4 bytes con 16 o 32 bytes para datos dado que estos tamaños son mas apropiados para el tráfico de voz.

Finalmente se llegó a un acuerdo de compromiso en junio de 1989, consistente en definir el tamaño de la celda en 53 bytes, de los cuales 5 (la media entre 6 y 4) son para la cabecera y 48 (la media entre 64 y 32) para datos.

4.2 Formato de las celdas ATM

Las celdas ATM están constituidas por dos partes, una cabecera de 5 bytes y un payload (área de datos) de 48 bytes. La cabecera contiene información sobre el canal virtual, el camino virtual, el tipo de payload y la prioridad de pérdida de la celda; mientras que en el payload se encuentran los datos de usuario.

Dependiendo de la interfase, la cabecera de la celda consta de 5 ó 6 campos manteniendo siempre el tamaño de 5 bytes. Las dos versiones de cabecera, pueden verse en la figura 4.1.

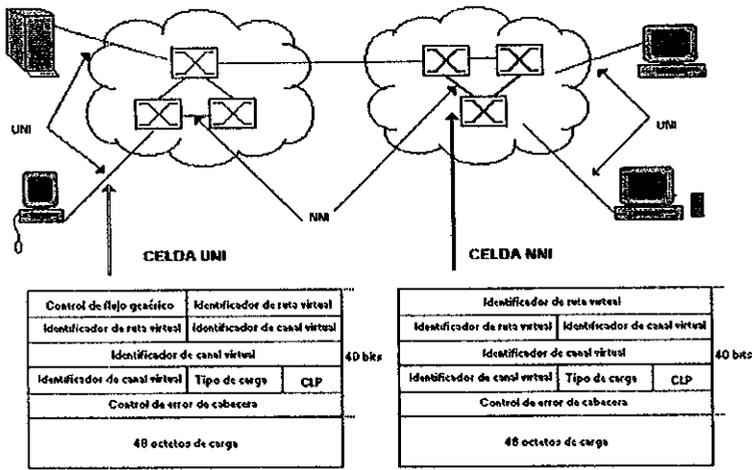


Figura 4.1 Cabeceras UNI y NNI

Como se muestra en la figura 4.2 la cabecera consta de 40 bits, de los cuales 24 (en el caso de UNI) o 28 (para NNI) son utilizados para los identificadores de ruta y canal virtual. La diferencia entre las dos versiones consiste en la utilización del campo de control de flujo genérico (GFC) existente en la versión UNI y no en la versión NNI. Este campo es utilizado por los protocolos de control de flujo en redes cuyo medio es compartido, tal como se usa el protocolo MAC en redes Ethernet o Token Ring. Además de este campo, en ambas versiones se utilizan los siguientes campos:

Tipo de carga (PT, Payload Type). Es un campo de 3 bits y su uso es muy variado. Es ocupado por el identificador PTI (Payload Type Identifier) el cual identifica el contenido de la celda, ya sea una celda de información de usuario, una celda que contiene información de administración de la red o una celda de recursos de control.

De las 8 combinaciones posibles, se utilizan las 7 primeras. El código 8 se reserva para usos futuros.

En la tabla 4.1 se pueden observar los valores que corresponden al mensaje de servicio de usuario o de la red, en el primer caso los dos últimos bits corresponden a el indicador de congestión y a la unidad de tipo de datos.

Prioridad de pérdida de celdas (CLP, Cell Loss Priority). Es un campo de 1 bit que se utiliza para funciones de gestión y control de la congestión. Si el bit está seleccionado (normalmente a 1) indica que la celda puede ser descartada en caso de congestión o de violación de las características de la conexión. Si está en 1 significa que la celda debe ser despachada antes que las celdas donde el CLP sea 0.

Control de flujo genérico (GFC, Generic Flow Control). Es utilizado para el control de la transmisión de la celda entre el equipo del cliente (CEQ) y la red. Este campo es usado para aliviar el congestionamiento en los multiplexores donde el número de CEQs se encuentran compartiendo el mismo troncal en la red. Cuando no existe congestionamiento en el troncal este campo es puesto en modo de *transmisión incontrolada*, en el cual cada uno de los CEQs deberá enviar las celdas a la red (en este modo, todos los bits se encuentran en 0). GFC es un procedimiento asimétrico muy útil, ya que evita sobrecargar la red por los CEQs.

Control de error en la cabecera (HEC, Header Error Control). Es un campo que consta de 8 bits usados para la detección de errores en la cabecera causados durante la transmisión. Esta función puede ser configurada en modo de corrección o detección. En el primer caso errores de bits independientes pueden ser detectados y corregidos, mientras que en el modo de detección uno o múltiples errores pueden ser detectados y descartar las celdas afectadas.

Otro uso de este campo es para determinar el inicio de la celda (proceso de alineación). El proceso de alineación se realiza haciendo un check en la llegada de cada bit hasta que se encuentra un check válido. A continuación se realiza un check de las cinco celdas siguientes; cuando se

consiguen las cinco celdas correctas, se asume que se ha encontrado la sincronización de las celdas.

La información transmitida en la cabecera es transmitida en orden y el bit más significativo de cada octeto es transmitido primero. La información o carga se transmite en una forma similar.

	Tipo de Flujo	Indicador de congestión	Unidad de tipo de datos
000	0 Usuario	0 No congestión	0 Unidad tipo 0
001	0 Usuario	0 No congestión	1 Unidad tipo 1
010	0 Usuario	1 Congestión	0 Unidad tipo 0
011	0 Usuario	1 Congestión	1 Unidad tipo 1
100	1 Red	0 Mantenimiento (segmento por segmento)	
101	1 Red	0 Mantenimiento (de fin a fin)	
110	1 Red	1 Administración de recursos de la red	
111	1 Red	1 Reservado	

Tabla 4.1

Identificador de ruta virtual (VPI). Es un campo de 8 ó 12 bits dependiendo del tipo de interface que se utilice para funciones de ruteo. Un camino virtual puede consistir de múltiples canales virtuales. Este campo se utiliza para conmutar paquetes de canales virtuales desde una entrada a una salida.

Identificador de canal virtual (VCI). Es un campo de 16 bits también relacionado con funciones de ruteo. Este campo identifica un único canal virtual, al contrario que un camino virtual identifica un conjunto de canales virtuales.

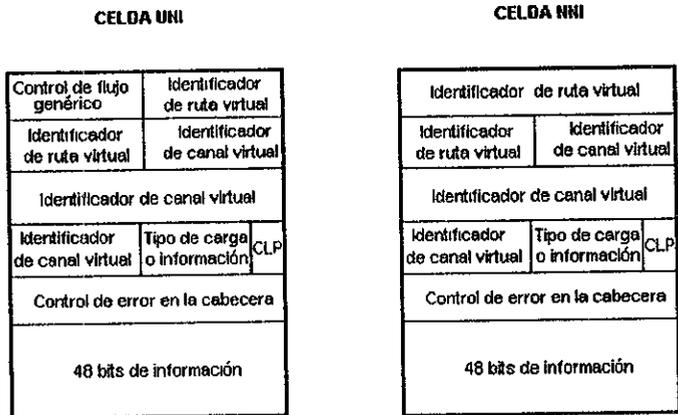


Figura 4.2 Celdas UNI y NNI

4.3 Colocación de la información en las celdas

Una de las funciones principales que se tomaron en cuenta al tratar de que ATM y las tecnologías LAN fueran compatibles, es el poder poner la información en celdas. Existen muchos tipos de información, los cuales requieren colocarse en celdas y este proceso debe estar claramente definido

El proceso se encuentra basado en el modelo OSI para garantizar compatibilidad entre las redes. La posición de los protocolos ATM está definida en relación a otros en el suite de protocolos, pero sin restringir los que se encuentran en capas superiores e inferiores. La capa de ATM intercambia el protocolo ATM de unidad de datos (PDUs, Protocol Data Units), es decir la celda con 53 octetos; mientras que las capas superiores presenta y acepta las Unidades de servicio de datos Atm (SDUs, Service

Data Units) cada una con 48 octetos para cubrir lo que corresponde al campo de información de la celda.

Los estándares definen dos funciones para adaptar los protocolos LAN² existentes y otros para adaptar los bit streams cortos, como las celdas de longitud constante: "adaptación, segmentación y reensamblado" como se verá mas adelante.

Existen diversas variantes en el transcurso de la "adaptación" para el acomodo de conexiones de velocidad constante (CBR) y las de velocidad variable (VBR), sin embargo todas siguen una segmentación sucesiva como la que se muestra en la figura 3.3, si se necesita de formatos adicionales, éstos pueden ser definidos de una manera mas sencilla posteriormente.

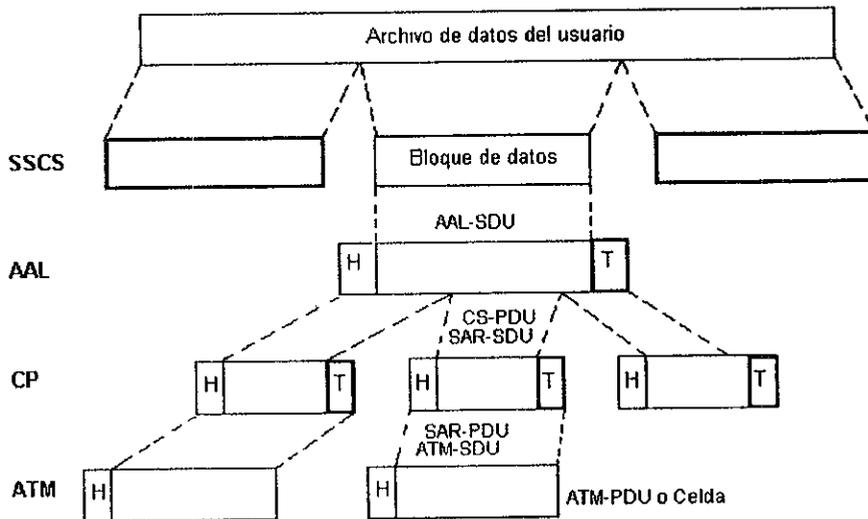


Figura 3.3 Segmentación de frames a celdas

² Todos los protocolos LAN existentes se encuentran basados en la utilización de frames de longitud extensa y variable

4.3.1 Adaptación

Un paquete de formato largo debe ser adaptado al proceso de ser seccionado en celdas para poder ser transmitido en un ambiente ATM, para lo cual existe un protocolo de convergencia de servicio-específico (SSCP, service-specific convergence protocol), el cual funciona de la siguiente manera:

- Mapea señales de control normalmente pasadas en bits de señalización.
- Provee la identificación del inicio y fin del frame mediante un número serial repetido en ambos extremos del frame.
- Ajusta la longitud del frame para poderse seccionar de una manera fácil.

No todos los SSCPs realizan todas las funciones, en algunos casos son totalmente nulas o simplemente no tiene algunas adicionales, pero se incluyen para permitir un modelo para describir todas las situaciones.

Existe en el SSCP una parte en común de la subcapa de convergencia (CPCS³), la cual realiza la preparación básica para la segmentación y permitir después el reensamblado:

- Garantiza que cada frame esté completo y libre de errores en la recepción.
- Rellena el PDU de la AAL en múltiplos de 4 u 8 octetos antes de la segmentación.

³ CPCS. Common Protocol Convergence, subcapa que se encarga de llenar el PDU de Nx48 bytes, mapea bits de control, y agrega el Frame Check Sequence para preparar el paquete para la segmentación y reensamblado

- Descarta el relleno después del reensamblado de la información llegada o recibida.

4.3.2 Segmentación

Después del proceso de adaptación, el frame es dividido en segmentos, el protocolo de adaptación y reensamblado de PDUs los acomoda en el campo de payload de las celdas en 48 bytes. Como parte de la segmentación el transmisor efectúa las siguientes funciones:

- Traduce las direcciones de los protocolos superiores en direcciones ATM.
- Marca la primera, la de enmedio y la última celdas que resultan de la segmentación de cada frame para que al ser recibidas lo hagan en un orden.
- Traduce los campos o bits de control entre el frame y los bits de control del encabezado de la celda.
- Inserta el código de revisión de error del encabezado (HEC, Header Error Checking) en cada celda para proteger los campos de dirección. Posteriormente se menciona el funcionamiento.

4.4 Principio de ruteo de celdas

Debido a que el servicio que ofrece ATM es orientado a conexión, son necesarias las tablas de ruteo en las unidades de switcheo; cada celda es puesta en su ruta por unidades de switcheo intermedias, las cuales asocian su identificador con su destino, tal y como se muestra en la figura 4.3.

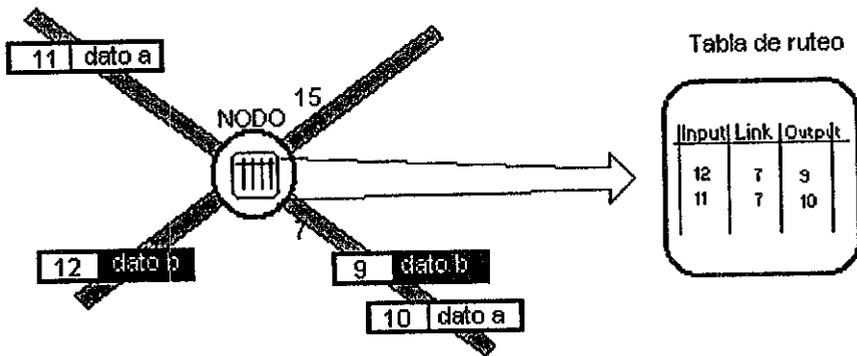


Figura 4.3 Asociación con la tabla de ruteo

Como en el caso de packet switching o frame relay, el identificador lógico solamente tiene un significado local, en este caso se encuentra conformado como se había mencionado anteriormente:

- Por un identificador de grupo o VPI (virtual path identifier), con una longitud de 8 bits en una celda UNI y 12 bits de longitud en una NNI.
- Y por un identificador del elemento en el grupo o VCI (virtual channel identifier) que es de 16 bits de longitud.

Un par compuesto por un VP y un VC es el equivalente a un circuito virtual en packet switching o un enlace virtual en frame relay. La noción de un path o ruta virtual es utilizada por el administrador de la red para organizar y administrar la transmisión de recursos, utilizando enlaces permanentes o semipermanentes.

Una ruta esta formada por dos tipos de conexiones: una conexión de ruta virtual y una conexión de canal virtual. Cada conexión está formada por la concatenación de canales y rutas virtuales . La jerarquía de los identificadores (VPI,VCI) permite el desarrollo de dos tipos de unidades de switcheo:

- Unidades ATM de rutas-switcheo virtuales llamadas VP cross-connect (cross-connects digitales ATM o DCCs ATM), las cuales utilizan solamente VPI para enviar los datos a través de la ruta. Son controladas por las unidades de administración de la red.
- Unidades ATM de switcheo de canal virtual, las cuales utilizan los dos identificadores (VPI y VCI). Son principalmente intercambios de acceso de red que operan sobre la base de los mecanismos call-by-call y call-handling.

Un VP cross-connect es utilizado para rutear todos los canales virtuales pertenecientes a la misma ruta como un bloque. Pueden ser utilizados también para configurar líneas de red rentables, para proveer rutas stand-by, para realizar interconexiones entre nodos de switches en un servicio no orientado a conexión , etc.

Las celdas son asignadas a una conexión de acuerdo a la actividad del origen y de la disponibilidad de la red. Existen dos modos de asignación de conexiones:

- Asignación permanente o conexión virtual permanente, la cual es el resultado de un contrato de servicio entre el operador de la red y el usuario.
- Asignación según la petición, call-by-call (llamada por llamada), o una conexión switcheada virtual, la cual requiere de un protocolo de

señalización entre el usuario terminal y la unidad de switcheo de acceso a la red.

Este protocolo de señalización es llevado por sí mismo a una conexión virtual separada que como cualquier otra conexión virtual puede ser asignada permanentemente a una actividad de señalización o por petición. Por último, el set-up de una conexión virtual de señalización hace uso de un procedimiento especial llamado metaseñalización.

4.5 Protección contra congestión

El mecanismo que se utiliza para evadir la congestión de la red depende del tipo de servicio que ofrece la capa ATM. El Foro ATM ha definido un gran número de categorías de servicio llamadas QoS (quality of service). La siguiente lista resume los principales atributos de estas categorías:

- El tráfico CBR (constant bit rate) para aplicaciones de velocidad continua; el flujo CBR ocasiona ciertas limitaciones en término de garantizar el ancho de banda y los parámetros dependientes del tiempo tales como el retraso y el jitter de celdas. La emulación de circuitos es posible si se utiliza la calidad de servicios. El ancho de banda reservado es una función de el PCR (pick cell rate).
- El tráfico VBR (variable bit rate) para aplicaciones de velocidad tipo ráfaga, cuyo flujo es menos demandante que el CBR en ancho de banda garantizado y parámetros dependientes del tiempo. Esto requiere que se reserve un ancho de banda de acuerdo al PCR y al SCR (sustainable cell rate).
- Tráfico ABR (available bit rate) es utilizado para aplicaciones que no necesitan rigurosas limitaciones , disponibles para controlar su propio

flujo de datos y adaptar su velocidad instantánea al valor que varia entre la velocidad mínima de la celda (MCR, minimum cell rate) y la velocidad máxima de ella (PCR, peak cell rate). Las celdas especiales RM (resource management) proveen periódicamente estados de congestión en la red y provocan que las estaciones incrementen o decrementen instantáneamente su velocidad. Para el tráfico ABR, el ancho de banda reservado corresponde al MCR, de cualquier manera el retraso de la celda o el jitter no puede ser especificado de tal manera que la pérdida del radio de la celda (cell loss ratio) sea minimizada.

- Para el tráfico UBR (unspecified bit rate), la red no garantiza ningún retraso, jitter o cell loss ratio. No existen limitaciones para las estaciones al enviar información, pero la red no reserva ningún ancho de banda para este tipo de tráfico, también llamado best effort (mejor esfuerzo).

La siguiente tabla resume y simplifica las características anteriores propuestas por el foro ATM, de hecho, divide la categoría VBR en rt-VBR (real time VBR) y nrt-VBR (non-real-time VBR). El ITU-T define también clases de servicios similares a los QoS, pero anexando una más llamada ABT (ATM block transfer), en la que todas las celdas de un mismo frame son enviadas como un solo bloque.

En el caso de servicios que requieren un ancho de banda reservado, principalmente para los servicios de tráfico CBR o VBR, los dispositivos finales son los responsables del flujo que ellos generan de acuerdo al contrato establecido entre el usuario y la red. El contrato de tráfico describe las características de la fuente generadora de tráfico, tal como el promedio de velocidad de bits, su velocidad máxima, la duración de las ráfagas (burstiness), etc También define los atributos de la calidad del servicio asociados con la conexión, en particular el CLR, el CTD y el CDV. Dependiendo de el modo utilizado para asignar la conexión (ya sea

permanente o switchheada); estas características pueden ser definidas cuando se efectúa la suscripción.

En el caso del servicio UBR para el cual no existe contrato alguno, la red no reserva ningún ancho de banda. Los mecanismos de control de flujo se necesitan para adaptar la velocidad de las fuentes a los cambios de la red y así minimizar la pérdida de radio de la celda (cell loss ratio).

A pesar de todas estas precauciones, la red puede sufrir de algún estado de congestión. El bit CLP en cada cabecera de celda es utilizado en mecanismos de protección de congestión, este bit puede ser controlado por el equipo fuente, el cual determina la importancia relativa de los datos transportados en cada celda.

Un ejemplo de un uso posible es la codificación multivelocidad de video: El bit CLP es puesto en 1 en las celdas que transportan información menos importante, si la red llega a estar congestionada estas celdas son las primeras en ser descartadas provocando una pérdida de calidad en la imagen, lo cual es menos importante que perder la transmisión completamente.

Se llama protección contra congestión a un conjunto de mecanismos que juegan un rol importante en diferentes fases de la conexión.

4.6 Control de admisión

La primera medida preventiva es un CAC (connection admission control) para nuevas conexiones; una vez dado las características del tráfico, la red debe "decidir" si tiene los suficientes recursos disponibles para garantizar la calidad de servicio requerida por el usuario, y entonces reserva los recursos para la duración de la conexión.

- Si la calidad del servicio es muy exigente, el ancho de banda reservado debe corresponder a la velocidad máxima del equipo fuente u origen, también llamado peak cell rate⁴ (PCR). De esta manera, la red puede garantizar el ruteo de todas las ráfagas de información hacia su destino en el tiempo establecido y con prácticamente una probabilidad cero de pérdidas de celdas. El PCR de una conexión ATM es expresada en celdas por segundo y es igual a la inversa del intervalo t (llamado intervalo pico de emisión, peak emisión interval) más pequeño separando celdas consecutivas (Figura 4.4).
- Si la calidad del servicio es menos exigente en términos de variación de retraso y pérdida de datos, la red puede tomar probabilidades estadísticas en cuenta y solamente reservar el ancho de banda que depende del PCR y la velocidad que soporta la conexión (SCR). Esta última velocidad es entre el promedio de bit rate entre la fuente y su máximo bit rate; la ráfaga más alta de tráfico es la que se acerca más a el bit rate máximo.

4.7 Espaciamento y supervisión

Una vez que la conexión ha sido establecida, el equipo fuente implementa un mecanismo de espaciamento (source shaping) cuando se está transmitiendo la información para respetar de esta forma el contrato de tráfico

Se debe notar también que es caso de acceso a la a red utilizando modo circuito, también llamado STM (Synchronous Transfer Mode), la fuente puede utilizar solamente la velocidad correspondiente a los time slots asignados cuando la conexión se establece; la red solo tomará en cuenta

⁴ PCR Peak Cell Rate, es un parámetro de tráfico aplicado a cada Circuito y ruta virtual, así como a cada canal. No debe confundirse en este caso, con Preventive Cycle Retransmission (PCR) ya que tiene las mismas siglas

la información contenida en esos time slots y el bit rate aceptado será "calibrado" de acuerdo a eso.

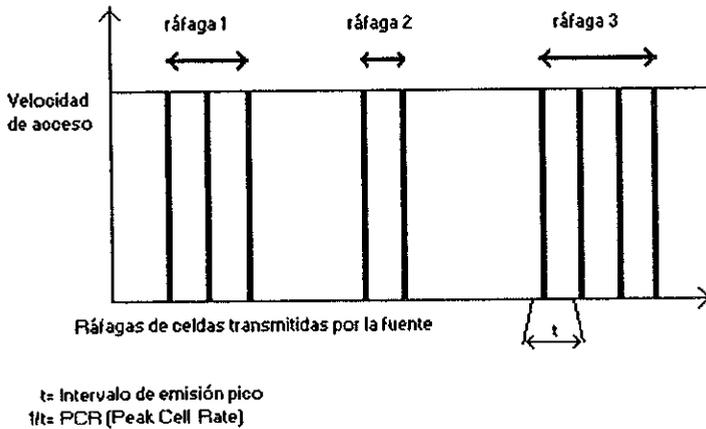


Figura 4.4 Gráfica del PCR de una celda ATM

En contraste, cuando se accesa la red con ATM, no hay nada que pare a la fuente ofreciendo mucho más tráfico que el especificado en el contrato sobre el canal virtual asignado, mucho menos se presentará seguidamente una falla en el equipo. De esta manera la red debe llevar la calibración por sí misma controlando y regulando el bit rate ofrecido por el canal virtual de acuerdo con el contrato. Es esencial que la red se proteja a sí misma contra situaciones adversas, de lo contrario no estaría disponible para garantizar la calidad de servicio ofrecido ya que podrían haber sobreflujos en las unidades de switcheo.

Por lo tanto, también es implementada la supervisión en el acceso de la red. Para cada conexión se utilizan usualmente las siguientes funciones.

- Una medición del bit rate ofrecido, que usualmente utiliza el algoritmo leaky bucket-type cuyos parámetros dependen de la calidad de servicio asociado a la conexión.
- Un control, que es utilizado para eliminar las celdas de más o reducir su nivel de prioridad; este último método lleva el nombre de violation tagging.

El espaciamiento puede llevarse a cabo antes que las celdas sean puestas en la red, de acuerdo con el ancho de banda reservado para la conexión (figura 4.5) y además esta función de espaciamiento asegura una protección eficiente de la red.

Ambas funciones (espaciamiento y supervisión) pueden ser implementadas por separado en la prioridad de celdas (CLP=0) o en todas las celdas en una forma relacionada a la conexión (CLP=0 y CLP=1).

4.8 Notificación de congestión

A pesar de todas estas precauciones tomadas en las interfaces de la red, puede ocurrir un estado de congestión temporal en una unidad de switcheo debido a la acumulación estadística de ráfagas de celdas esperando en diferentes conexiones; la congestión es generalmente detectada por un sobreflujo de un umbral en la cola de la unidad de switcheo.

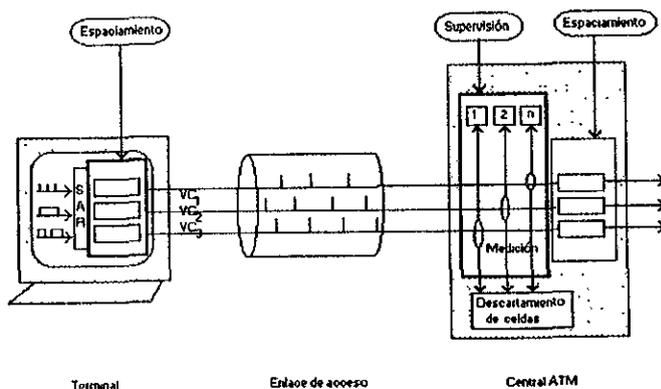


Figura 4.5 Espaciamiento de celdas al ser puestas en la red.

Un EFCI (explicit forward congestion indication) podría ser activada en las celdas que han pasado por la unidad de switcheo congestionada, esta notificación de congestión es dada por el segundo bit de l header de la celda (campo PTI).

El tiempo de propagación entre el equipo fuente y el destino es muy largo comparado con el tiempo que toma la transmisión de la celda (2.73 μ s para una velocidad de acceso de 155.520 Mbit/s, o el equivalente en propagación sobre un cable de 500m), y un mayor número de celdas pueden ser retransmitidas antes de que la notificación de congestión sea recibida y de este manera desaparecería la congestión.

En el caso de tráfico ABR, celdas especiales RM son periódicamente insertadas en el flujo del equipo fuente (cada 32 celdas de usuario o cada 100 ms). Entre otra información esto indica el bit rate instantáneo de la fuente, la velocidad máxima permitida y la velocidad mínima esperada. Cuando estas celdas alcanzan su destino, la última las envía de regreso hacia la fuente e inserta si es necesario información de congestión si el

encabezado de una o más celdas de usuario recibe previamente un bit EFCI activo.

Mientras se está recibiendo esta información la fuente decremente instantáneamente su bit rate, además dependiendo del estado de congestión la unidad de switcheo envían las celdas RM, indicarán el valor máximo de bit rate disponible. Estos mecanismos de control permiten a la fuente utilizar los recursos al máximo con una variación de velocidad de celdas entre el mínimo esperado y el pico.

Cabe mencionar que aún se siguen llevando a cabo estudios para otros métodos de control de tráfico, como el basado en el mecanismo de crédito paso por paso (step-by-step credit).

Si la congestión persiste o se empeora, la única solución que queda es eliminar las celdas, esta operación es llevada a cabo en dos etapas: Empezando con cierta congestión, solamente las celdas cuyo bit CLP es igual a 1 son destruidas por la unidad de switcheo y después bajo otro umbral todo el exceso de celdas son eliminadas.

Otra técnica, más eficiente pero aún en estudio consiste en limitar la retransmisión de frames, en caso que se utilice el tipo de tráfico UBR o ABR, una unidad de switcheo podría eliminar completamente los frames MAC (frame discard).

4.8.1 Flujo de la información multiplexada

Cell relay no es solo una técnica de switcheo, es también una técnica de multiplexación. Las celdas son generadas en demanda dependiendo de el bit rate de la fuente. Las partes de los datos son primero ajustado a al tamaño de la carga y después se pone el encabezado de la conexión; este proceso de generador de celdas es gobernado por el propio bit rate de la fuente y no está relacionado con las características del medio de

transmisión (bit rate, algún patrón de delineación, etc.). Es por esto que la tecnología es llamada transferencia asíncrona, ya que por el contrario de la conmutación de circuitos y la multiplexación la fuente no provee un componente para cada frame cada 125 ms para llenar el time slot.

La multiplexación de celdas transmitidas por diferentes fuentes que comparten el mismo enlace de acceso es similar a la multiplexación de paquetes perteneciente a diferentes circuitos virtuales en el packet switching. El flujo discontinuo de celdas resultante de la multiplexación de varias conexiones es transmitida a la capa física.

4.9 Adaptación de la velocidad

Usualmente el bit rate (velocidad de bits) del flujo de las celdas multiplexadas proveídas por la capa ATM no es igual al que se encuentra trabajando en el enlace físico de acceso. La adaptación de la velocidad, generalmente llamado stuffing o justifying es necesaria. Las diferentes formas de llevar a cabo esta adaptación pueden ser agrupadas en tres técnicas principalmente, donde la tercera es en realidad una combinación de las dos anteriores.

- Para generar un flujo continuo de las celdas, se insertan celdas vacías en el flujo, en caso de un sistema de transmisión de frames el flujo resultante corresponde a la carga del enlace (frames síncronos SDH, por ejemplo), mientras que si el enlace de transmisión es basado en celdas, sería igual al bit rate total del enlace. Este método de inserción ha sido conservado por el ITU-T para ISDN.
- Por el contrario, el flujo de celdas puede permanecer discontinuamente; este tipo de flujo es encontrado principalmente en redes ATM de área local. Debido a que el intervalo de tiempo entre las celdas puede ser de diferente longitud, los caracteres stuffing pueden ser insertados para

adaptar el bit rate. Por ejemplo, esta técnica es usada en transmisiones ATM sobre infraestructuras utilizando la capa física de FDDI a 100 Mbit/s.

- Una combinación de los dos métodos anteriores consiste en agrupar un número constante de celdas en bloques, que serán rellenos por celdas vacías. La diferencia entre estos bloques y el bit rate es que éste último será llenado por un número variable de bytes de relleno (stuffing bytes), lo cual garantiza una secuencia estricta de bloques cada 125µs.

Este método es usado en transmisiones ATM sobre enlaces plesíncronos (PDH, plesiochronous digital hierarchy).

4.9.1 Protección del encabezado por el HEC

Debido a que el ruteo de celdas está basado en los campos VPI y VCI, deben ser protegidos ya que si se presenta algún error el ruteo se torna imposible. El HEC (header error control) ofrece cierta protección; generalmente los errores de transmisión son independientes uno de otro especialmente en redes ópticas donde se generan errores aislados que pueden ser corregidos relativamente rápido. En el caso de errores de ráfagas (debido a operaciones de modificación y configuración en una red hecha de enlaces redundantes), no se permite la corrección y las celdas con errores durante ese transcurso son descartadas. En cualquier caso, si el error es aislado o agrupado si se excede la capacidad del campo de HEC la celda será destruida.

El equipo destino cuenta con un modo de corrección y detección para la protección del mecanismo del header.

- El modo de corrección es el modo normal de operación, las celdas cuyo HEC no muestra algún error son pasadas a capas superiores, y aquellas

cuyo HEC muestra algún error son pasadas después de que su header ha sido corregido y por último aquellas que presentan múltiples errores son destruidas.

- La detección de un HEC inválido (con un solo error o con múltiples) genera un cambio en el que todas las celdas con algún conflicto son destruidas. Por el contrario, la detección de una celda con un HEC correcto causa el retorno a el modo de corrección.

La figura 4.6 ilustra el procedimiento de estos dos modos utilizados para proteger al receptor de errores posibles; cuando un error es encontrado el receptor asume que es el principio de una ráfaga y cambia al modo de detección para evitar realizar correcciones innecesarias. Si esta hipótesis es falsa cuando se recibe la próxima celda se regresa al modo de corrección.

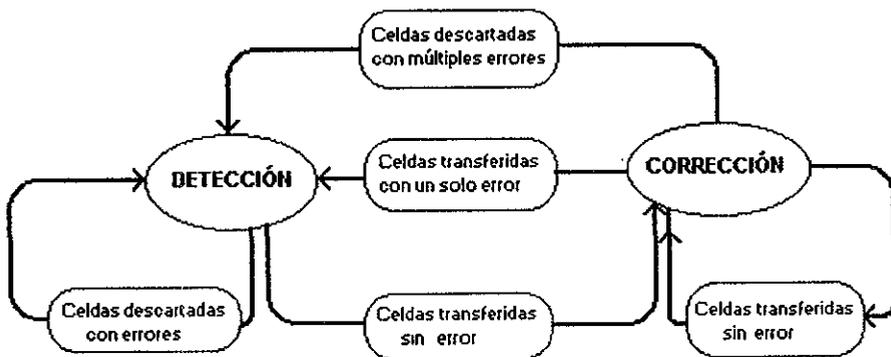


Figura 4.6 Diagrama para la detección y corrección de errores en el header

Matemáticamente, el valor del HEC de algún encabezado es derivado de aplicar el siguiente procedimiento:

- Los 4 primeros bytes del header son utilizados como el coeficiente de un polinomio de 31 grados $M(x)$ (donde el primer bit corresponde al término x^{31} y el último a x^0).
- El polinomio $M(x)$ es multiplicado por x^8 y después dividido (módulo 2) por un polinomio generador $G(x)=x^8+x^2+1$.
- El polinomio $C(x)=x^6+x^4+x^2+1$ es sumado (módulo 2) a el residuo de la división para dar resultado a un polinomio $R(x)$ cuyos coeficientes forman la secuencia de 8 bits del HEC (el quinto byte en el header).
- El byte generado da una distancia Hamming de 4, propiedad que permite corrección a todos los errores de un solo bit (solamente 1 error de bit) así como la detección de los errores de 2 bits.

4.9.2 Otras técnicas de adaptación de velocidad

Cuando la adaptación de velocidad no está basada en la generación de flujo continuo de celdas, la técnica de delineación que utiliza la detección del HEC no es necesariamente factible. En este caso se provee de un patrón de delineación para cada celda en forma de bytes o símbolos.

Adaptación al sistema de transmisión

Una vez que se ha resuelto el problema de la adaptación del bit rate y la delineación de las celdas, el flujo digital debe ser puesto en el sistema de transmisión ya sea si se encuentra en frames o no.

Para sistemas de transmisión de frames, se deben considerar dos casos para mapear un flujo continuo de celdas en el payload:

- utilizando un medio de transmisión síncrono⁵ (SDH)
- utilizando un medio de transmisión plesíncrono⁶ (PDH)

Adaptación a transmisión síncrona

En el caso de transmisión síncrona SDH, la adaptación toma lugar en el nivel del path. La recomendación ITU-T 1.432 especifica el mapeo para frames STM-1 a 155.520 Mbit/s (así como frames STM-4 a 622.080 Mbit/s). La trama STM-1 provee una capacidad de 2430 bytes cada 125 ms (155 520 kbit/s), los cuales son ordenados en 270 columnas y 9 renglones para ser transmitidos renglón por renglón. Los primeros 9 renglones (81 bytes) no llevan información debido a que son overhead, se utilizan para delinear y administrar la trama.

Los 2349 bytes restantes forman un contenedor virtual de cuarto orden, VC 4, el cual está formado por una columna de 9 bytes que contiene el POH (path overhead) y el propio contenedor, conlleva a una capacidad de transmisión de 2340 bytes cada 125 ms (149 760 kbit/s). El POH es utilizado para funciones de mantenimiento (chequeo de paridad en el path, tipo de carga, verificación continua del path, etc.). El byte C2 (tipo de carga=ATM) se encarga del mapeo de celdas ATM en un contenedor C-4. Un amplio número de celdas no puede ser puesto en un payload de 2340 bytes, por lo que el flujo de las celdas es mapeado continuamente a el contenedor C-4 para que así puedan sobreponerse sobre el frame adyacente (figura 2.11), este caso de mapeo la delimitación de celdas se basa en el HEC.

Adaptación a transmisión plesíncrona (Recomendación G.804)

En el caso de transmisión plesíncrona las celdas son agrupadas en un frame periódico, el cual incluye funciones de mantenimiento. El protocolo

⁵ **SDH:** Synchronous Digital Hierarchy, plan de multiplexación digital donde todos los niveles son sincronizados al mismo reloj maestro

⁶ **PDH:** Pleisochronous Digital Hierarchy, esquema de multiplexación de T-1 a T-3 y mayores, su funcionamiento es el contrario del SDH

- La categoría 3 UTP (calidad de voz) puede ser utilizada con una velocidad de 51.84 Mbit/s utilizando el código CAP 16 (carrierless amplitude modulation/phase modulation). Los 16 símbolos de este código llevan 4 bits por lo que reducen la velocidad de modulación requerida a 12.96 Mbaud.
- De manera similar, una velocidad de datos de 25.6 Mbit/s es aceptada en UTP categoría 3 con codificación 4B/5B lo cual conlleva a una velocidad de modulación de 32 Mbaud. Se utiliza el NRZ para representar la información y el comienzo de cada celda identificado por un bit específico. Se encuentra otro bit disponible en esta interfaz para asegurar la sincronización a 8-kHz, el cual se inserta en la celda.

Los parámetros que afectan principalmente el performance de cell relay son :

- la pérdida de celdas
- el retardo en la transferencia

Las dos causas principales en la pérdida de celdas son los errores del header y los sobreflujos del buffer. Aún cuando el header se encuentra protegido contra errores, algunos no son corregidos o detectados, lo que lleva a rutear errores, por otro lado los errores que son manejados por el HEC y cuyos headers contienen errores incorregibles son descartadas automáticamente. Lo anterior lleva a una pérdida en la velocidad de las celdas (cell loss rate) y a una velocidad de ruteo incorrecta.

4.10 Delineación de celdas

Cuando las celdas son recibidas sus límites son identificados, esta delineación puede ser llevada a cabo en varias formas dependiendo de la técnica utilizada en la adaptación del bit rate.

Adaptación por flujo continuo de celdas

En el caso de un flujo continuo de celdas, independientemente del sistema de transmisión se ha definido previamente una función de delineación. Se encuentra basada en la detección del HEC del encabezado de la celda y utiliza un scrambler (aparato para perturbar las emisiones radiofónicas) para aumentar la seguridad y robustez.

La delineación de las celdas se encuentra basada principalmente en el HEC, el cual protege los 4 primeros bytes del encabezado, este método no depende de ningún patrón de delineación especial ya que el uso del HEC permite la propia delineación de las celdas 9ATM.

Los límites de la celda en un flujo digital continuo son detectados determinando el byte para el cual las reglas de codificación han sido verdaderas; el procedimiento de esta auto-delineación se muestra en el diagrama de estado finito de la figura 4.7.

En la búsqueda del estado de límite de una celda, el mecanismo checa bit por bit si las reglas de codificación son aplicables en el header asumido. El mecanismo cambia al estado de presincronización cuando se detecta el primer límite de la celda determinado cuando se recibe un HEC válido; en este estado el mecanismo continúa verificando si son aplicables las reglas a los bytes que contienen el HEC

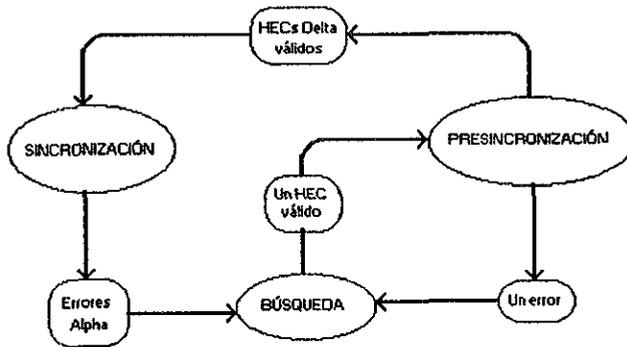


Figura 4.7 Principio de la delineación de celdas ATM.

Cuando se detectan delta HECs consecutivos, se autoriza el cambio al estado de sincronización, mientras que la detección de un HEC inválido provoca el regreso al estado de búsqueda. En el estado de sincronización el mecanismo continua verificando los HECs: cuando se detectan alpha HECs consecutivos se regresa al estado de búsqueda.

Mientras mayor sea el número de HECs consecutivos inválidos es mayor la pérdida de delineación alpha y es más poca la probabilidad de perder delineación cuando existe un error de transmisión, pero mientras más grande sea alpha toma más tiempo detectar una pérdida de delineación.

La probabilidad de una delineación incorrecta disminuye con un delta mayor, debido al número consecutivo de HECs válidos necesarios para considerar la delineación adquirida. De todas formas, mientras delta sea mayor existirá un tiempo de adquisición de delineación mayor.

Se han propuesto dos valores de acuerdo al tipo de medio físico:

- 7 para alpha y 6 para delta en sistemas de transmisión síncronos
- 7 para alpha y 8 para delta en sistemas basado en la transmisión de celdas.

5 EQUIPO

Este capítulo tiene como propósito brindar un panorama general de los equipos necesarios que conforman una red ATM; no se indican especificaciones explícitas de las características de ellos debido a que dependerán ampliamente de la magnitud de la red que se desee integrar y por lo tanto de las necesidades de acuerdo al análisis que previamente se deberá haber realizado.

Por otro lado, debido a que una red ATM puede estar integrada a su vez por una LAN convencional, los equipos serán lógicamente diferentes a los utilizados para formar una red 100% ATM.

5.1 Categorías propuestas

Primero dividiré los productos ATM en cinco categorías básicas, esta división ha sido propuesta por mí de una manera global y no deben bajo ninguna circunstancia verse relacionada con alguna estructura definida por algún estándar.

Como se muestra en la Figura 5.1, el mercado de los productos ATM puede dividirse en varios grupos o clasificaciones:

- La primera clasificación pertenece a los productos que forman el backbone (también llamado core network), el cual es el corazón de la red. Involucra switches de gran capacidad (más de 50 Gbit/s) que ofrecen interfaces ATM arriba de los 622 Mbit/s.
- El equipo que forma el acceso a la red entre el backbone y las redes de área local (LAN), son plataformas de switcheo multiservicios que deben estar localizados cerca del equipo del usuario, utilizan la tecnología ATM como el switcheo (arriba de los 10 Gbit/s) y brinda un extenso número de interfaces de servicios (como frame relay, circuitos emulados G.703, circuitos virtuales ATM, etc.)

Para este tipo de productos, los fabricantes son por lo regular diferentes de los que producen los switches para el backbone.

- La primera clasificación pertenece a los productos que forman el backbone (también llamado core network), el cual es el corazón de la red. Involucra switches de gran capacidad (más de 50 Gbit/s) que ofrecen interfaces ATM arriba de los 622 Mbit/s.
 - El equipo que forma el acceso a la red entre el backbone y las redes de área local (LAN), son plataformas de switcheo multiservicios que deben estar localizados cerca del equipo del usuario, utilizan la tecnología ATM como el switcheo (arriba de los 10 Gbit/s) y brinda un extenso número de interfaces de servicios (como frame relay, circuitos emulados G.703, circuitos virtuales ATM, etc.).
- Para este tipo de productos, los fabricantes son por lo regular diferentes de los que producen los switches para el backbone.

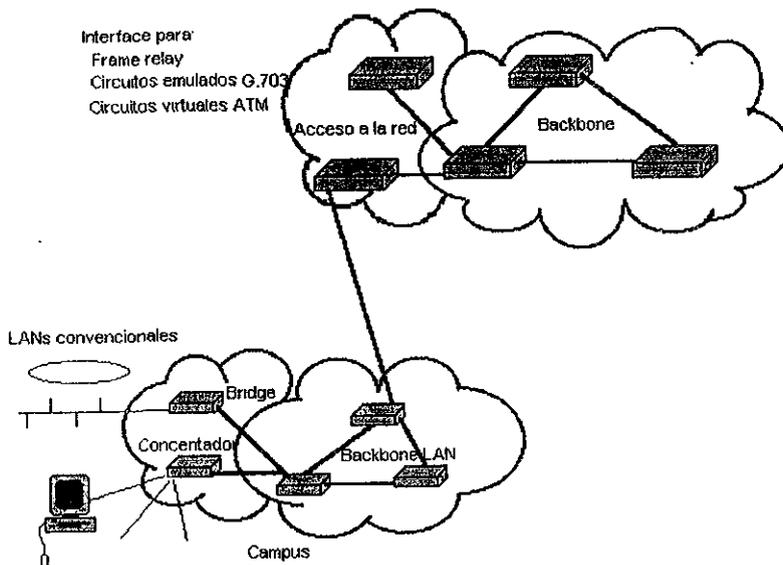


Figura 5.1 Clasificación de productos ATM propuestos

- Los productos que conforman el backbone de la red tipo campus (LAN) son switches ATM caracterizados por una capacidad mediana (mas o menos 10 Gbit/seg) y limitados a el medio ambiente del área local.
Son proveidos por una tercera categoría de fabricantes, por lo regular de aquellos que constituyen el mercado de los productos de ruteo y switcheo para LANs.
- Una cuarta clasificación la conforma el equipo que permite el acceso al backbone del campus, como por ejemplo bridges que conectan a la red ATM de área local con las LANs convencionales (LAN switches) o los concentradores ATM (workgroup switches).
Estos equipos son brindados por fabricantes de productos LAN que están relacionados con la categoría anterior de fabricantes.
- La ultima clasificación se hace para los productos que permiten brindar la tecnología ATM a las estaciones de trabajo. Usualmente son tarjetas de red y módulos de softwares asociados.
Aqui se pueden encontrar un gran número de fabricantes, por lo regular son aquellos que proveen estos productos para LANs. Si la tecnología ATM se está brindando hasta las estaciones de trabajo deberán colocarse interfaces de red propias para ese tipo de red, y si se está utilizando LAN emulation las tarjetas de red serán las mismas utilizadas para LANs convencionales.

5.2 Dispositivos de Adaptación

Uno de los enigmas al surgir ATM fue sin duda el que ninguna de las aplicaciones existentes "hablan" ATM y resulta logística y económicamente infactible el convertir toda la red a ATM de la noche a la mañana. Por otro lado resulta crítico el proponer una estrategia que de alguna manera proteja los sistemas de red existentes; una solución práctica sería el aplicar ATM cuando se implemente una aplicación nueva o quitar barreras específicas que afectan el performance de la red.

La manera en que mejor se logra proteger las aplicaciones y dispositivos existentes es cuando se migra a ATM sin forzar a realizar cambios en los dispositivos y aplicaciones que no lo necesitan a menos que sea realmente necesario. Lo anterior se logra mediante una gran variedad de dispositivos de adaptación ATM que se clasifican principalmente en: NICs¹ de adaptación, Hubs de adaptación, Switches de adaptación y concentradores de adaptación. Cada uno de ellos desarrolla una función específica en la migración de tecnologías de la red.

5.2.1 NICs de adaptación

Una tarjeta de red ATM (NIC) es utilizada cuando un dispositivo (como un servidor o una estación de trabajo) necesita estar conectada directamente a un switch ATM o tener acceso directo. La mayoría de las tarjetas ATM se encuentran constituidas por tres áreas principales: La interface de bus, el ATM engine (parte principal del ATM) y la entrada/salida físicas. En la figura 5.2 puede observarse un diagrama de ella.

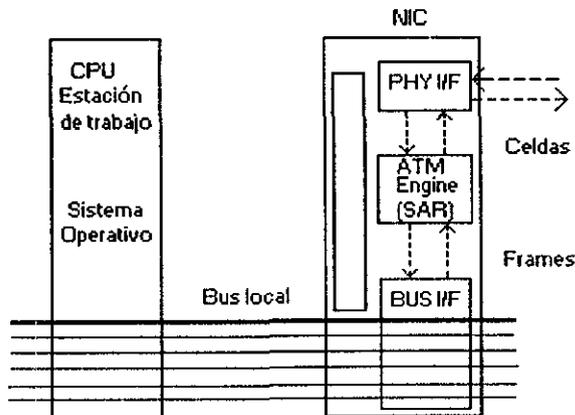


Figura 5.2 Tarjeta ATM de interface de red (NIC)

¹ NIC (Network Interface Card) Periférico que permite a una computadora extender su bus al de otras computadoras mediante un sistema de red

Como en todas las tarjetas de red, la función de la interface de bus es la de preparar la información que se encuentra en el bus de la estación de trabajo para ser transmitida por la red. Las funciones estándares de conversión paralelo-serie y de interface de bus son realizadas en esta área. Un API² apropiado proporciona un ambiente estructurado para lograr una interface con el sistema operativo de la estación de trabajo o el sistema operativo de red para la extracción de paquetes y una transmisión secuencial en una red ATM.

En el diseño de muchas tarjetas de red en esta área también se lleva a cabo un control de flujo y tráfico tal como se requiere en la interface ATM UNI.

En el ATM engine es donde se realizan las funciones de segmentación y reensamblado (SAR, Segmentation And Reassembly) así como la de señalización dependiendo de la capa de adaptación elegida (AAL) y en concordancia con la UNI. Se tomaron ciertas consideraciones para realizar estas funciones en cuanto a software, en el procesador de la estación de trabajo existe un diseño de chip con funciones específicas. El proveedor generalmente implementa dos tipos de ATM engines: un cliente y un servidor.

Las tarjetas con un ATM engine cliente son mas simples (y menos caras) ya que el número de direcciones que deben ser simultáneamente procesadas es muy pequeño, por lo que se necesita menos memoria y velocidad. Inicialmente estas funcionalidades deben ser implementadas en tarjetas que requieren ser insertadas en algún bus, pero en un futuro esta función actuará directamente en la tarjeta madre del CPU.

Por el contrario un ATM engine servidor necesita de muchas mas sesiones de segmentación y reensamblado, es decir, el número de conexiones lógicas aumenta considerablemente por lo que se requiere de alta velocidad y bastante memoria RAM. Este tipo de tarjetas son mas costosas , consumen mas recursos y no pueden ser integradas a la tarjeta madre.

La última área de una tarjeta de red comprende la interface física, que aunque parezca de poca importancia, es una de las que causó mayor controversia en el Foro ATM, debido a que con el surgimiento de esta tecnología (ATM) los usuarios pueden escoger

² API (Application Programming Interface), módulo de software para separar el Sistema Operativo de la aplicación

de entre una gran variedad de velocidades (desde 25 o 51 Mbit/s a 622 Mbit/s), de medios de transmisión (fibra en monomodo o multimodo, UTP categorías 3 a 5 o bien STP). Esta diversidad de rangos permite tener una idea de la relación entre performance y precio de los dispositivos y aplicaciones en la red.

5.2.2 Hubs de adaptación

Actualmente todo el tráfico de una LAN es recaudado o controlado por algún tipo de hub, de hecho la revolución de las LAN no hubiera sucedido si no se hubieran inventado las interfaces 10BaseT y los hubs. Estas dos innovaciones derribaron dos obstáculos principales: eliminar de alguna forma el coaxial y evitar el caos en la administración de todo ese cable aunqu todavía se tiene que compartir un mismo medio.

Todos los medios compartidos en una LAN se caracterizan por el hecho de que el ancho de banda por usuario disminuye cuando el número de usuarios por segmento crece (figura 5.3). Anteriormente el ancho de banda requerido por el usuario (algunos kbit/S) era mas pequeño comparado con el ancho de banda compartido (10 Mbit/s), por lo que el ancho de banda ofrecido por Ethernet parecía ser suficiente; sin embargo las aplicaciones actuales demandan mucho mas ancho de banda a las tecnologías LAN.



Figura 5.3 Ancho de banda compartido en una LAN original

El problema no es que 10 Mbit/s no alcancen o sean suficientes para un usuario, el problema es que tiene que compartir ese ancho de banda con mas usuarios por lo que lo que el ancho de banda que a el corresponde disminuye, entonces lo que realmente se necesita es de un "nuevo" hub. En el hub ideal debe ser posible conectar interfaces LAN estándar y dispositivos LAN existentes. En lugar de utilizar técnicas de medio compartido por varios usuarios se propone utilizar técnicas de switcheo. La clave de estos equipos se encuentra en convertir el tráfico LAN convencional en el punto de ingreso del hub y dar 10 Mbit/s a cada usuario conectado tal y como se muestra en la figura 5.4. Si ATM se utiliza como técnica de switcheo interna es posible lograr esta adaptación.

La ventaja con la utilización de este tipo de dispositivos es que se pueden escalar solamente aquellos dispositivos que necesitan aumentar su ancho de banda (como un servidor). Los usuarios finales pueden permanecer con sus tarjetas ethernet y obtener un ancho de banda de 10 Mbit/s efectivos ofrecidos por la tecnología 10BaseT. En el caso de que usuarios especificos necesitaran de un ancho de banda mayor pueden ponerse tarjetas de red a 50, 100, 155 o 622 Mbit/s a sus estaciones.

5.2.3 Concentradores de adaptación

Estos dispositivos son realmente una nueva era, se encargan esencialmente del ensamblado y desensamblado de celdas. Estos equipos se conocen también como ASADs (Application Specific Adaptation Devices) o NADs (Network Access Devices). Realizan las mismas funciones (de hecho son combinaciones) que de multipuertos DSU³/CSU⁴ y conversión de protocolos que un PAD (Packet Assembler/Dissassembler). La mayor funcionalidad de estos equipos es la de adaptar la información de dispositivos y aplicaciones LAN anteriores para su transmisión a través de una Red ATM, ya que permite configurar un protocolo específico en cada puerto.

³ DSU (Digital Data Service Unit) convierte la señalización de una interface RS-232 en codificación de línea para transmisión en loop local.

⁴ CSU. (Channel service Unit) Interface de la línea del T-1 que termina el loop local.

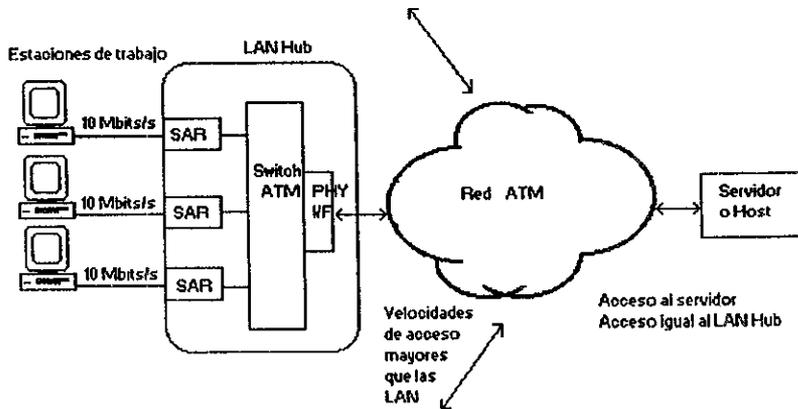


Figura 5.4 Ancho de banda switchado en una LAN ATM

5.2.4 Switches de adaptación

Los dispositivos anteriores (NICs, hubs y concentradores) desempeñan sus tareas en un área determinada de la red, sin embargo el dispositivo que se encarga de realizar diferentes funciones al mismo tiempo dentro de la red es un switch de adaptación.

Cuando se evalúa y elige algún equipo es importante recordar que éste debe lograr una correspondencia entre la tecnología que se implementará y las aplicaciones que se van o están utilizando. Actualmente existen en el mercado una gran variedad de switches cuyas características físicas y tecnológicas varían de acuerdo al tipo de red que se desee implementar y a las necesidades que el usuario requiera. Se tiene siempre que evaluar costo contra flexibilidad, equipos grandes contra pequeños, redundantes contra no redundantes, etc. y no se debe olvidar que no siempre se puede tener todo en un solo equipo por lo que hay que analizar las necesidades que se tengan en la red. En los últimos años los proveedores de equipos han construido una gran diversidad de equipos que básicamente se dividen en dos categorías: "Switches para un grupo de trabajo",

orientados principalmente a aplicaciones de una red local y "Switches enterprise" orientados hacia aplicaciones WAN.

5.2.4.1 Tipos de switches de acuerdo al costo

En la mayoría de las aplicaciones y de las migraciones, un factor fundamental que influye en la selección de los equipos es el costo. Por lo anterior muchos proveedores han optado por bajar los precios de sus respectivos equipos en los productos LAN, pero con ello la arquitectura de sus diseños.

Cabe mencionar que los equipos en algunos casos bajan su rendimiento con estas nuevas modificaciones, sin embargo en la mayoría de los casos el diseño que se propone en ellos es el adecuado para operar, pero sin posibilidades de escalación. Algunas diferencias entre equipos son:

Pequeños

Un factor que definitivamente influye en el costo de algún equipo es el tamaño y número de puertos que este tenga, la mayoría de los switches LAN tienen de 8 a 16 puertos cuya capacidad total suma de 1 a 2 Gbit/s. Los equipos con un mayor número de puertos lógicamente soportan un mayor ancho de banda, pero también su precio se eleva en una forma considerable.

No redundantes

Una característica que hace aumentar el precio del equipo de una forma considerable es la capacidad de redundancia debido a la arquitectura tan robusta que proporcionan. Este tipo de infraestructura hace que el equipo sea muy caro aún cuando en equipos LAN no se utilice mucho ya que no se adjuntan a él módulos extras; por lo cual muchos fabricantes han decidido eliminar esta característica en los equipos LAN, logrando de esta manera bajar el precio.

Cuando la redundancia se torna crítica

La redundancia es necesaria principalmente en dos situaciones: La primera es cuando una gran concentración de tráfico pasa por un solo switch (según pruebas realizadas por

Cisco Systems cualquier switch con mas de 2 Gbit/s puede soportar esta prueba) y también cuando un switch es utilizado para soportar aplicaciones en una WAN. Muchos equipos de diversos proveedores incluyen slots de tarjetas universales que soportan cualquier entrada/salida para CBR y VBR. Además la mayoría de este tipo de equipos tienen la característica de ser hot-swap⁵.

Por lo regular los switches de este tipo se requieren donde la comunicación "necesita" ser constante.

5.3 Estrategias de adaptación

Como habia mencionado anteriormente, existen en el mercado una gran diversidad de productos ATM (incluyendo los netamente ATM y los que soportan LAN emulation) para poder conformar una red que soporte tráfico "convencional" (figura 5.5). Una estrategia sugerida para lograr lo anterior consiste en dejar fuera a la nube ATM (es decir, independiente) sin forzar cambiar aquellas aplicaciones o dispositivos que realmente no ganan realmente mucho beneficio con este tipo de tecnología.

Las tarjetas de red ATM hacen que las estaciones de trabajo pertenezcan directamente a la nube ATM. Equipos con ciertas aplicaciones, como servidores pueden requerir y estar conectados directamente a esta nube sin necesidad de forzar a los otros a hacer lo mismo. El foro ATM ha adoptado una gran variedad de velocidades, rápidas (50-622 Mbit/s) y medias (UTP-3 a fibra) de tal manera que los usuarios elijan la tecnología que emplearán y que mejor se adecue a las necesidades de su red. LA flexibilidad de ATM permite combinar diversas velocidades e interfases en un solo tipo de aplicación.

La mayoría de los hubs de adaptación brindan característica de costo-eficiencia y alto rendimiento para la conversión de LANs convencionales a ATM. Con este tipo de equipos los costos se ven minimizados al poder convertir ATM sin necesidad de migrar la

⁵ **hot-swap** Es decir, que se pueden sacar los módulos del slot sin necesidad de apagar el equipo y sin que afecte en lo absoluto su funcionamiento

nube directamente al closet de comunicaciones. Por lo anterior estos equipos brindan un escalabilidad en el backbone sin necesidad de cambiar las tarjetas de red.

Los switches de adaptación constituyen el corazón de una red robusta, ya sea para crear nuevos servicios en una red pública o para consolidar redes privadas, además de brindar performance sin necesidad de sacrificar demasiado tiempo y además con una gran capacidad de administración.

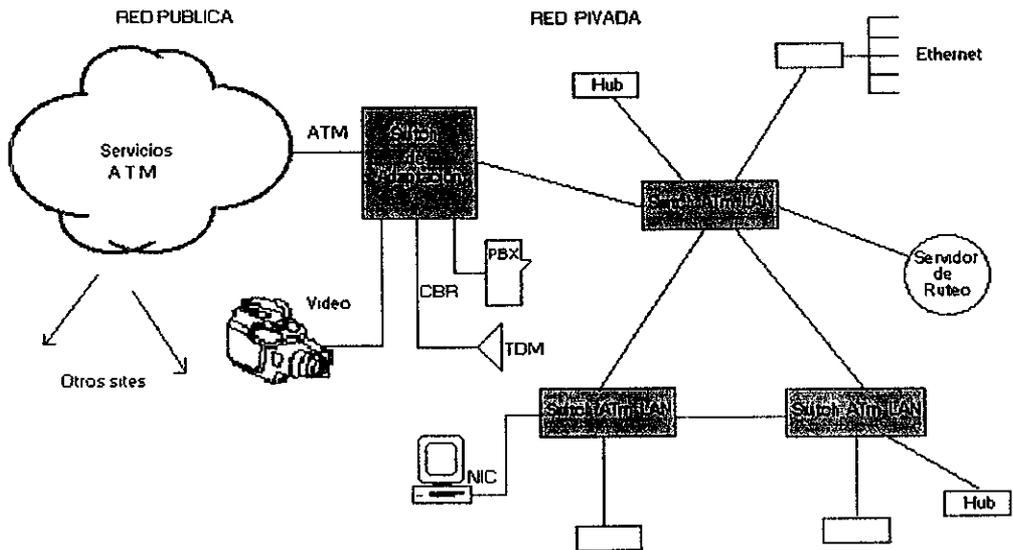


Figura 5.5 Topología híbrida en una red ATM

5.4 Ruteadores en ambiente ATM

El performance de los ruteadores actuales deriva sus beneficios de la distribución tan cuidadosamente realizada de sus componentes internos. Un ruteador se encuentra constituido por tres funciones básicas: La tarjeta de control, las tarjetas de entrada/salida y el backplane, como se muestra en la figura 5.6.

La tarjeta de control es la fuente principal de la "inteligencia" de la red, utilizando un protocolo de ruteo consistente y robusto (como RIP u OSPF) la tarjeta de control logra comunicarse a otros ruteadores y determinar las rutas de las conexiones fuentes y sus destinos. Un protocolo poco robusto manipula la dirección y busca en las tablas almacenadas en cada I/O de la tarjeta.

Si un paquete llega y no tiene una entrada correspondiente en la tabla, la I/O de la tarjeta pregunta a la tarjeta de control que hacer y posteriormente actualiza la I/O de la tarjeta de tal manera que el paquete sigue siendo enviado.

Cuando se tienen múltiples ruteadores, existen varias tarjetas de control que necesitan ser administradas, sin embargo existe una forma de reducirlo y tener un solo ruteador virtual.

5.4.1 Backplane

Si las tarjetas de control logran unificarse forman un backplane, como se muestra en la figura 5.7 . Las 20 o 30 tarjetas de control se han condensado en una sola función llevada a cabo en el "servidor de ruteo" Las tarjetas de entrada/salida conforman entonces una nueva clase de hub (hub ATM) y el backplane ha sido reemplazado por una red de switches ATM.

Con lo anterior regresamos a la solución de un solo ruteador (como se había mencionado anteriormente) pero eliminando las trabas iniciales. El backplane está ahora geográficamente expandible y con escalabilidad en el performance; los hubs filtran ahora localmente y envían la información. En lugar de agregar direcciones de bus , los paquetes segmentados son enviados por un VC apropiado, de tal manera que los

switches llevan las celdas a través de la red hacia su hub destino donde las celdas son reensambladas en los paquetes apropiados.

Cuando se detecta una nueva dirección, el hub pregunta al servidor de ruteo (software en una estación de trabajo estándar) y crea las tablas correspondientes permitiendo a los hubs el envío necesario.

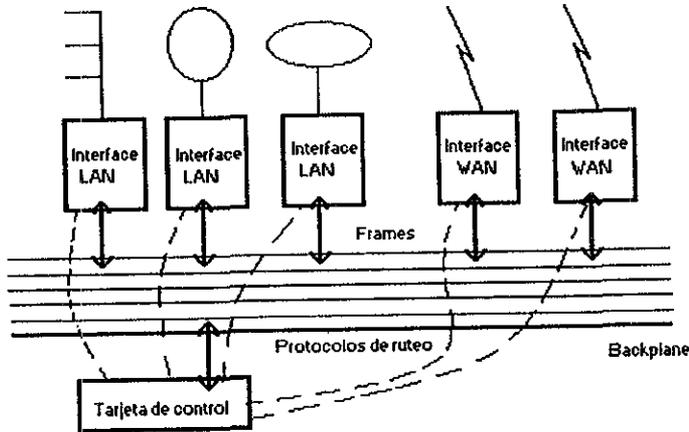


Figura 5.6 Constitución de Router

5.4.2 Seguridad

Un beneficio adicional es que ATM es un servicio orientado a conexión de tal manera que asegura que la información que se envía llega segura. Las subredes no se encuentran ya atadas a puertos físicos, lo cual permite a los administradores crear verdaderas redes lógicas. Los usuarios pueden ser parte de un grupo de trabajo no importando su localización física.

Existe una extensión de este beneficio, cuando las funciones del router se conjuntan con las de una tarjeta de red inteligente. Si el servidor de ruteo puede trabajar con la

tarjeta de red de la misma forma que lo hace con el hub, el backplane puede del router virtual puede "fusionarse" con el backplane de la estación de trabajo, de tal manera que la estación de trabajo es un valor agregado a la red en lugar de un punto ciego en la red.

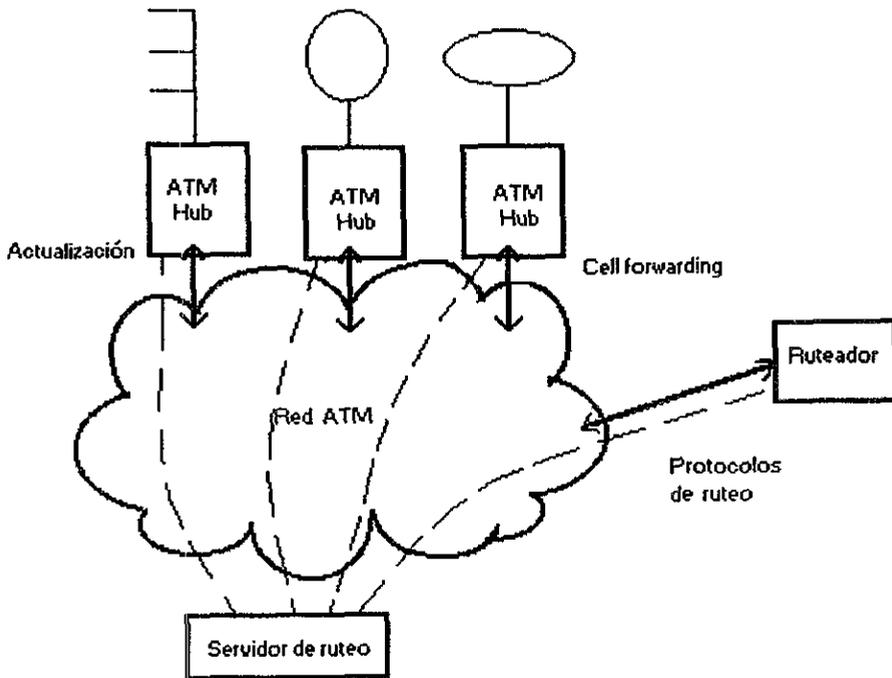


Figura 5.7 Backplane

Apéndice A

Organismos de estandarización para ATM

ITU-T

El ITU-T (International Telecommunications Union-Telecommunication Standardization Sector) es uno de los cuerpos de estandarización del ITU (International Telecommunications Union). Sus miembros son representados por todos los países miembros del ITU (France Telecom for France) y algunos científicos y organizaciones industriales. El ITU-T fue formalmente llamado CCITT (Comité Consultatif International pour le Télégraphe et le Téléphone).

El trabajo de estandarización del ITU-T se define plenamente en sesiones que son llevadas a cabo cada 4 años; después es llevado a grupos de estudio (Sgs, Study Groups) los cuales a su vez se dividen en grupos de trabajo (Wps, Working Parties). El grupo encargado con todo lo relacionado a ATM es SG 13 (redes digitales, incluyendo ISDN) y en especial el WP 8, el cual es responsable de el ancho de banda ISDN. A los documentos del ITU-T se les llama recomendaciones; las primeras que conciernen a

ATM fueron aprobadas en 1988: Recomendaciones I.113 (vocabulario de términos) e I.121 (aspectos de ancho de banda de ISDN).

A continuación listo algunas recomendaciones relacionadas a ATM que ya han sido aprobadas:

I.113	Vocabulario de términos
I.121	Aspectos de ancho de banda de ISDN
I.150	Características funcionales de ATM
I.211	Aspectos de servicio
I.311	Aspectos generales de red
I.321	Modelos de referencia de protocolo
I.327	Arquitectura funcional de la red
I.35B	Aspectos de performance de la capa ATM
I.361	Especificaciones de la capa ATM
I.362	Descripción funcional AAL
I.363	Especificaciones AAL
I.364	Soporte de ancho de banda de datos no orientados a conexión
I.371	Control de tráfico y Administración
I.413	Interface de usuario-red (UNI)
I.432	Especificaciones de la capa física UNI
I.555	Frame Relay
I.580	Acuerdos generales para el buen funcionamiento de red entre B-ISDN e ISDN basado en 64 Kbit.
I.610	Principios OAM de acceso B-ISDN
Q.142x	Metaseñalización
Q.2010	Introducción general a la señalización en B-ISDN
Q.2100	Descripción general de la señalización B-ISDN en la capa de adaptación ATM (ver también Q.2110, Q.2120, Q.2130 y Q.2140)
Q.2500	Nodos de red B-ISDN, Introducción y campos de aplicación (ver también Q.2510, Q.2520, Q.2530 y Q.2550)
Q.2610	Uso de causa y Localización en B-ISDN y B-ISUP
Q.2650	Buen funcionamiento de red entre señalización B-ISUP y B-ISDN

Q.2660	Buen funcionamiento de red entre señalización B-ISUP y N-ISUP
Q.2931	Protocolo capa 3 B-ISDN UNI
F.811	Descripción de servicio, Información orientada a conexión
F.812	Descripción de servicio, Información no orientada a conexión

ANSI

Como el AFNOR en Francia, el ANSI (American National Standards Institute) es el cuerpo de estandarización nacional en los Estados Unidos. Tiene un campo enorme de actividad y delega su autoridad a un cuerpo apropiado en cada dominio. ECSA (Exchange Carriers Standards Association) es el cuerpo acreditado para telecomunicaciones.

El comité ANSI T1 se encuentra a cargo de telecomunicaciones, en particular con todos los estándares relacionados a SONET actuando conjuntamente con Bellcore (Bell Communications Research). El grupo técnico T1S1 es el más especializado con lo concerniente a redes de alta velocidad.

Los estándares concernientes al ancho de banda ISDN son equivalentes a las recomendaciones del ITU-T:

T1.105	SONET, Synchronous Optical Network
T1E1.2/92-020	Especificaciones UNI PMD
T1S1/92-185	Rangos UNI y formatos
T1S1.5/92-002	Especificaciones de la capa ATM
T1S1.5/92-003	Parte común AAL 3/4
T1S1.5/92-004	Servicios AAL para CBR (Clase A)
T1S1.5/92-005	Soporte de servicios no orientados a conexión
T1S1.5/92-006	Documentos de servicios Baseline
T1S1.5/92-007	Control genérico de flujo (GFC)
T1S1.5/92-008	Parte específica servicios VBR AAL
T1S1.5/92-009	Administración de tráfico y recursos
T1S1.5/92-010	Parte común AAL 5

T1S1.5/92-029	Aspectos OAM (reporte técnico)
T1S1.5/92-xxx	señalización y arquitectura para clase C/D AAL

El comité ANSI X3 se encuentra a cargo de todo lo que tiene que ver con las redes de computadoras e interfaces, lo cual definitivamente tiene que ver con ATM. Su subgrupo X3T9.5 fijo el estándar FDDI, así como los documentos relacionados a HIPPI (high-performance parallel interface) y a FCS (fibre channel standard).

IEEE

Esta organización (Institute of Electrical and Electronics Engineers) es muy conocida por sus estándares en redes de área local formulados por el proyecto 802. IEEE grupo 802.6 que abarca el estándar del protocolo DQDB para redes de área metropolitana; utiliza celdas del mismo tamaño que en ATM. Para tecnologías de transmisiones de alta velocidad, 100BaseT y 100VG-AnyLAN fueron estandarizados por los comités 802.3 y 802.12 respectivamente. El grupo 802.9 responsable de la conexión de terminales a redes de distancia local y larga distancia esta interesado en el trabajo sobre ATM.

Foro ATM

El foro ATM fue formado en 1991 y actualmente se encuentra conformado de 700 compañías, su misión principal es la de acelerar el desarrollo de los productos ATM a través de las especificaciones de interoperabilidad. El foro ATM crea acuerdos de implementación basados en los estándares internacionales; otro de sus objetivos es el de llenar el hueco en las especificaciones cuando los estándares no están disponibles, poniéndose de acuerdo para que lo que se decida funcione correctamente y sea aceptado por todos.

Las especificaciones del foro ATM son preparadas en varios grupos de trabajo:

- Capa física (especificaciones de interfaces eléctricas y ópticas en varios rangos)
- Señalización (UNI 3.1, UNI 4.0)
- Protocolo P-NNI (IISP, P-NNI fase 1)
- Protocolo B-ICI (broadband intercarrier interface)
- Administración de la red (especificaciones de la administración de las interfaces de la red)
- Administración del tráfico (modos VBR, ABR y UBR)
- Aspectos de servicio y aplicaciones (emulación de circuitos y servicios de multimedia, por ejemplo)
- LAN emulation
- Ambiente residencial
- Aspectos de multiprotocolo
- Seguridad
- Pruebas (especificaciones de pruebas)

La siguiente lista muestra algunas especificaciones aprobadas:

af-intro-0001.000	Documento general del foro ATM
af-intro-0002.000	Introducción a ATM y al foro ATM
af-intro-0003.000	Glosario de términos ATM
af-phy-0015.000	PMD ATM para 155 Mbps sobre cable de par trenzado
af-phy-0016.000	Capa física DS1
af-phy-0017.000	Utopía
af-phy-0018.000	Capa física Mid-range para UTP-3
af-phy-0029.000	6.312 Mbps UNI
af-phy-0039.000	Utopía nivel 2
af-phy-0040.000	Capa física para 25.6 Mbps sobre par trenzado
af-phy-0046.000	Capa física 622.08 Mbps
af-phy-0047.000	Capa física 155.52 Mbps para UTP-31
af-uni-0010.000	ATM UNI 2.0

af-uni-0010.001	ATM UNI 3.0
af-uni-0010.002	ATM UNI 3.1
af-uni-0011.000	ILMI MIB para UNI 3.0
af-uni-0011.001	ILMI MIB para UNI 3.1
af-uni-0012.000	Diferencias entre UNI 3.0 y UNI 3.1
af-pnni-0026.000	Interin Inter-Switch Signalling Protocol
af-bici-0013.000	B-ICI 1.0
af-bici-0013.001	B-ICI 1.1
af-bici-0013.002	B-ICI 2.0
af-nm-0020.000	Requerimientos de interface M4 y MIB lógicos
af-nm-0027.000	CMIP para interface M4
af-saa-0031.000	Frame UNI
af-saa-0032.000	Emulación de circuitos
af-saa-0049.000	Servicios multimedia Audio/Visual: Video en demanda
af-lane-0021.000	LAN emulation sobre ATM 1.0
af-lane-0044.000	Administración del cliente LAN emulation

Actualmente se encuentran varios documentos en proceso, debido a que aun el estándar de ATM no se encuentra cien por ciento liberado.

ETSI

El objetivo del ETSI (European Telecommunication Standards Institute) es que los estándares europeos sean reconocidos y llamados ETS (European Telecommunication Standars). Estos documentos utilizan los estándares existentes como base (las

recomendaciones del ITU-T, por ejemplo) y una vez que son aprobados se aplican en todos los países miembros del ETSI.

La siguiente lista muestra la correspondencia entre las recomendaciones del ITU-T y los estándares del ETSI:

ETS300.298 ⇒ I.361	Especificaciones de la capa ATM
ETS300.299 ⇒ I.362	Descripción funcional AAL
ETS300.300 ⇒ I.363	Especificaciones AAL
ETS300.301 ⇒ I.432	Especificaciones de la capa física UNI

Otros documentos relacionados a ATM son:

DE/NA-52617	AAL-1
DE/NA-52618	AAL-3/4
DE/NA-52619	AAL-5
DE/NA-52206	OAM
DE/NA-52209	OAM
DE/SPS-5024	Señalización UNI (llamada básica)
DE/SPS-5034	Señalización UNI (servicios suplementarios)
DE/SPS-5026-1 y 2	SAAL
DE/NA-53204	Servicio de frame relay (FR/ATM)
DE/NA-53205 y 6	Servicios no orientados a conexión de alta velocidad (CBDS/ATM)

El texto de todos los documentos del Foro ATM se encuentra disponible en el World Wide Web en la siguiente dirección: <http://www.atmforum.com>.

También es posible obtener el texto de las recomendaciones del ITU-T en el servidor info.itu.ch.

Apéndice B

Estándares de capa física

1. DS3. Este es el formato digital de 44 Mbps de la jerarquía digital de telefonía de Norteamérica. El medio físico es cable coaxial. Fue deliberado por UNI público.
2. 100 Mbps. Está basado en la capa física de FDDI y utiliza la codificación 4B5B y fibra multimodo de FDDI (Algunas veces es referido como LATM por Local ATM). Fue desarrollado por UNI privado.
3. Fibra 155 Mbps. Es bastante aproximado a la fibra multimodo que utiliza la codificación 8B10B de es estándar de canal de fibra. Propuesto por el UNI privado.
4. STP 155Mbps. Utiliza también fibra de canal con codificación 8B10B, pero corre en par trenzado protegido. Propuesto por UNI privado.
5. STS3c. Utiliza trama SONET 155 Mbps y corre tanto en fibra multimodo como monomodo, La fibra multimodo es mas utilizada en UNI privada y la monomodo en UNI pública.

6. UTP5155 Mbps. Utiliza par trenzado sin protección categoría 5 con codificación NRZI y trama SONET. Propuesta por UNI privado.
7. DS1. Este es el formato digital de 1.5422 Mbps de la jerarquía digital de telefonía de Norteamérica. Propuesto por UNI pública.
8. UTP3 52 Mbps. Utiliza cable de par trenzado sin protección categoría 3 con trama de SONET (STS1). La codificación de línea es CAP 16 (Combined Amplitude Phase modulation) que opera tecnología de módem. Es mucho más compleja que NRZI.
9. 6.312 Mbps. Basada en el muy poco utilizado formato digital de la jerarquía digital de telefonía de Norteamérica, su capa física fue propuesta por el UNI público en Japón.

Además se están estandarizando nuevas capas físicas, a continuación nombro algunas de ellas:

1. UTP3 25.6 Mbps. Esta capa física fue introducida en muchos productos de varios fabricantes incluyendo a IBM, uno de los primeros que se oponía. Esta primicia fue originalmente propuesta por al foro ATM en 1993, pero fue rechazada. Una segunda proposición fue aceptada en 1994 y desarrollada en 1995.
2. UTP3 155 Mbps. Este rango será extendido de UTP5 a UTP3 aplicando procesamiento de señales más complicadas y/o acondicionándolas.
3. Fibra 622 Mbps. Este trabajo se empezó en 1995 para implementar los 622 Mbps sobre fibra multimodo en distancias de unos cientos de metros.

Bibliografía

ATM Switching Systems

Chen Thomas M.
Artech House, 1995
Boston

ATM Technology: An introduction

Marc. Boisseau
International Thompson Computer
London, 1996

ATM networks : concepts, protocols, applications

Rainer Handel
Addison-Wesley
1994

ATM : theory and application

David E. McDysan
McGraw-Hill
New York, 1994

<http://juggler.lanl.gov/lanp/atm.tutorial.html>

<http://www.atmforum.com>

<http://www.cne.gmu.edu/modules/atm/Texttut.html>

http://www.npac.syr.edu:80/users/mahesh/homepage/atm_tutorial/

<http://www.cl.cam.ac.uk/Research/SRG/bluebook.html>