

# Características de la interconexión entre ATM e IP utilizando IP clásico

Yezid Donoso Meisel\*, Adriana López Forero\*\*

---

## Resumen

*Este artículo ilustra las principales características del modelo IP Clásico, diseñado por el IETF (Internet Engineering Task Force) para realizar la interconexión entre ATM e IP. En general, se ilustran las diferencias entre ATM e IP y se muestra la forma como IP Clásico resuelve el problema de direccionamiento utilizando ARP (Address Resolution Protocol) y los mensajes de control ATM intercambiados para realizar la adaptación entre estos dos protocolos.*

**Palabras claves:** ATM, TCP/IP, IP clásico, interconexión de redes.

## Abstract

*This article shows the main features of the Classical IP model from the IETF (Internet Engineering Task Force) for IP over ATM. It analyze some differences between IP and ATM and shows the use of ARP (Address Resolution Protocol), AAL5 (ATM Adaptation Layer type 5) and control messages for the interconnection of this protocols.*

**Key words:** ATM, TCP/IP, classical IP, internet working.

Fecha de recepción: Marzo 15 de 1999

## 1. Introducción

Este artículo se centra en la forma como se resuelven los problemas de direccionamiento y adaptación entre ATM e IP utilizando el modelo IP Clásico desarrollado por la IETF (*Internet Engineering Task Force*). La resolución de estos problemas ha tomado importancia debido al auge de ATM, especialmente como *backbone* o columna vertebral dentro de una red y a la permanencia de otros protocolos como IP en los nodos de

---

\*Msc. Ingeniero de Sistemas de la Universidad del Norte; minor en Gestión de Proyectos de Ingeniería de la misma universidad; magister en Ingeniería de Sistemas de la Universidad de los Andes, con área de investigación en redes de comunicaciones. Profesor e investigador del Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Norte. (E-mail: ydonoso@guayacan.uninorte.edu.co)

\*\* Ingeniera de Sistemas de la Universidad del Norte. Proyecto de Grado: «Desarrollo de un prototipo para el direccionamiento y adaptación entre ATM y TCP/IP en redes LAN 1999». (E-mail: adriana1@guayacan.uninorte.edu.co).

usuarios o computadores personales. Esta interconexión de diferentes tecnologías y protocolos dentro de una misma red es ocasionada por las diversas necesidades de una institución en diferentes puntos de la red. Por ejemplo, en general se busca que las estaciones personales sean económicas, mientras que se necesita que el *backbone* sea escalable, aunque tenga un costo mayor.

La forma de realizar la interconexión entre estos dos protocolos no es directa, debido a que ATM es estructuralmente diferente a la mayoría de los protocolos de red existentes, incluyendo IP. Es así como han surgido varios modelos para llevar a cabo esta interconexión, tales como *LAN Emulation* e IP Clásico. Sin embargo, dichos modelos enfrentan el desafío de que deben ser diseñados de tal forma que las principales características de ATM, tales como la Calidad de Servicio, lleguen a ser percibidas por el usuario final.

Es así como a lo largo de este artículo se muestra la forma como IP Clásico resuelve los problemas mencionados

anteriormente, utilizando ARP (*Address Resolution Protocol*) para resolver direcciones ATM a direcciones IP y viceversa, y AAL5 como protocolo de la Capa de Adaptación ATM para realizar la transferencia de paquetes IP a células ATM.

## 2. Diferencias entre ATM e IP

ATM e IP son tecnologías estructuralmente diferentes, como se ilustra en la tabla 1. Estas diferencias dan como resultado dos problemas: uno de adaptación y uno de direccionamiento. Para resolver el primer problema se necesita de una capa ubicada sobre ATM que realice el proceso de segmentar los paquetes IP en células y de reenzambloslos nuevamente durante el proceso inverso. Dicha función la realiza la Capa de Adaptación ATM.

Además, el pasar de un servicio no orientado a conexión a uno orientado a conexión y viceversa requiere de un intercambio de mensajes entre ambos protocolos para una adecuada sincronización, lo cual hace parte también del problema de adaptación.

**Tabla 1.** Diferencias entre ATM e IP

Característica	ATM	IP
Direcciones	20 octetos	4 octetos
Ancho de banda	dedicado	por demanda
Conexión	Orientado a la conexión	No orientado a la conexión
Unidad de información	células de tamaño fijo (53 octetos)	paquetes de tamaño variable

El problema de direccionamiento, por su parte, se debe a la diferencia de tamaño de las direcciones manejadas por ambas tecnologías y a la diferencia en la estructura de éstas, con lo cual el paso de un tipo de dirección a otro no puede darse de manera funcional. De forma que se necesita de un mecanismo para realizar el paso de un tipo de dirección a otro.

A continuación se explicará la forma como funciona el modelo IP Clásico para realizar la interconexión entre ATM e IP.

### 3. Características del modelo clásico de IP sobre ATM

- Se utiliza el encapsulamiento LLC/SNAP para los paquetes IP.
- La misma unidad máxima de transmisión (MTU) es utilizada para todos los VCs en una LIS (*Logical IP Subnetwork*). El valor del MTU por defecto es de 9188 octetos.
- La arquitectura de encaminamiento punto-punto de IP permanece invariable.
- Las direcciones IP son resueltas a direcciones ATM por medio del uso del servicio ATMARP dentro de la LIS.
- Una subred IP es utilizada por varios servidores y encaminadores. Cada VC conecta directamente dos miembros IP dentro de la misma LIS.

### 3.1. Características del Backbone ATM

- El *backbone* o red ATM proporciona un ambiente de conmutación para las conexiones virtuales (VC). Utilizando Conexiones Virtuales Permanentes (PVCs) o Conexiones Virtuales Conmutadas (SVCs).
- La información que viaja a través de un VC es segmentada en cantidades de 53 octetos (48 de datos y 5 de control) llamadas células.
- La función de colocar las Unidades de datos del Protocolo (PDUs)<sup>1</sup> dentro del campo de información de las células ATM y viceversa es desarrollada en la Capa de Adaptación ATM (*AAL ATM Adaptation Layer*). Cuando un VC es creado, un tipo de protocolo AAL es asociado al VC (Para el caso de IP, el protocolo asociado a todo VC será el AAL 5).
- El formato AAL5 especifica un formato de paquete con una longitud máxima de (64K-1) octetos para los datos de usuario. Las células para un PDU en AAL5 son transmitidas de la primera a la última en orden, siendo la última la que indica el final del PDU.
- El *ATM Forum* define señales de configuración de la conexión punto

---

<sup>1</sup> PDU (*Protocol Data Unit*) es la unidad de información especificada en una capa de protocolo y que consta de información de control y datos de la capa de usuario. La PDU de IP es el datagrama.

a punto y punto a multipunto. Conexiones multipunto a multipunto no han sido especificadas aún por el *ATM Forum* o la ITU-TS.

- Las direcciones utilizadas por ATM para las redes privadas son de tipo DCC<sup>2</sup>. Una dirección ATM privada identifica individualmente cada «punto terminal» ATM.

### 3.2. Características de los nodos IP

- Todos los miembros tienen el mismo número y máscara IP red/subred.
- Todos los miembros dentro de una LIS están directamente conectados al *backbone* ATM.
- Todos los miembros por fuera de la LIS deben ser accedidos por medio de un encaminador.
- Todos los miembros de una LIS deben tener un mecanismo de resolución de direcciones IP a direcciones ATM por medio de *ATMARP*, y viceversa, por medio de *INATMARP* cuando se utilizan SVCs.
- Todos los miembros de una LIS deben tener un mecanismo para convertir VCs a direcciones IP por medio de *INATMARP* cuando se utilizan PVCs.

- Todos los miembros de una LIS deben ser capaces de comunicarse a través del *backbone* ATM con otros miembros dentro de la misma LIS.

Los siguientes parámetros deben ser colocados en cada estación IP conectada al *backbone* ATM:

- *Dirección de hardware* ATM (*atm\$ha*): Dirección ATM para cada estación IP individual.
- *Dirección de petición ATMARP* (*atm\$arp-req*): Es la dirección ATM para un servidor individual *ATMARP* dentro de la LIS. Cuando se utilizan SVCs, las peticiones *ATMARP* son enviadas a esta dirección para la resolución de direcciones IP a direcciones ATM.

### 3.3. Formato de los paquetes

IEEE 802.2 LLC/SNAP<sup>1</sup> es el formato por defecto para los datagramas IP que operan sobre un *backbone* ATM. En este tipo de encapsulamiento, el protocolo es identificado colocando antes del PDU una cabecera LLC IEEE 802.2, la cual es seguida por una cabecera de Punto Anexo a la Subred (SNAP) IEEE 802.1a.

El formato de los CPCS-PDUs AAL5 de los protocolos encaminados no-ISO se ilustra en la figura 1, y consta de los siguientes campos:

- LLC: Es un valor de 0xAA-AA-03 (3 octetos) que indica la presencia de una cabecera SNAP.

---

<sup>2</sup>DCC (*Data Country Code*) formato de direcciones explicado en la figura 4.

0xAA-AA-03	0x00-00-00	2 Octetos	hasta $2^{16} - 9$ octetos
(LLC)	(OUI)	EtherType	PDU No ISO

**Figura 1.** Formato del campo de datos para los CPCS-PDUs AAL5

- OUI: Es un valor de 0x00-00-00 (3 octetos) que indica que los 2 octetos siguientes son un ethertype.
- ETHERTYPE: Para IP, el valor de este campo es de 0x08-00.

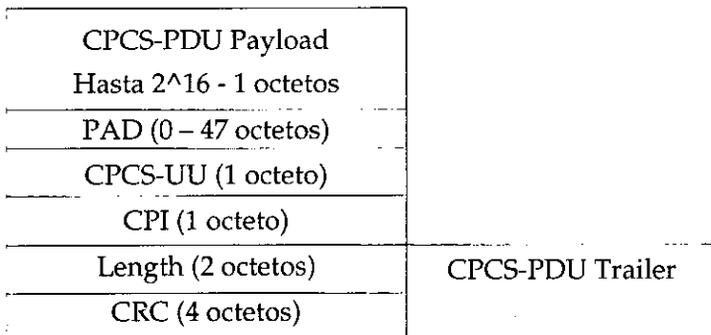
### 3.4. Formato de los PDUs AAL5

El formato de los PDUs para el protocolo AAL5 se ilustra en la figura 2. La descripción de los campos que lo conforman es la siguiente:

- El campo de datos o *payload* contiene hasta  $2^{16}-1$  octetos de información del usuario.
- El campo PAD rellena la CPCS-PDU para acomodarse exactamente en la

célula ATM, de tal forma que los 48 bits de datos de la célula creada por la subcapa SAR queden completamente ocupados.

- El campo CPCS-UU (Indicaciones Usuario-Usuario) es utilizado para transparentemente transferir información CPCS de usuario a usuario.
- El campo CPI (Indicador de parte común) alinea el paquete a 64 bits. Puede ser relleno con ceros (0).
- El campo de Length o tamaño indica la longitud en octetos del campo de datos. El valor máximo para este campo es de 65535 octetos.
- El campo CRC protege el paquete



**Figura 2.** Formato de los PDUs AAL5

CPCS-PDU completo, excepto este mismo campo.

#### 4. Protocolo de resolución de direcciones en el modelo clásico de IP sobre ATM

La resolución de direcciones dentro de las subredes IP conectadas a un *backbone* ATM utiliza el Protocolo de Resolución de Direcciones (ATMARP) y el Protocolo Inverso de Resolución de Direcciones (INATMARP). Todas las estaciones IP deben soportar estos protocolos.

En ATMARP se manejan los siguientes mensajes:

- ARP\_REQUEST: Mensaje enviado al solicitar la resolución de una dirección IP a una ATM.
- ARP\_REPLY: Respuesta al mensaje ARP\_REQUEST donde se da el resultado de la dirección ATM correspondiente.

- ARP\_NAK: Mensaje enviado cuando la resolución de una dirección no pudo ser efectuada.

En INATMARP se utilizan los siguientes mensajes:

- INARP\_REQUEST: Mensaje enviado al solicitar la resolución de una dirección ATM a una dirección IP.
- INARP\_REPLY: Respuesta al mensaje INARP\_REQUEST donde se da el resultado de la resolución de la dirección.

El uso de estos protocolos depende de si se utilizan PVCs o SVCs. El algoritmo que se debe seguir para las Conexiones Virtuales Permanentes (PVCs) se ilustra en la figura 3, y el de las Conexiones Virtuales Conmutadas en la figura 4.

#### 4.1. Formato de los paquetes ATMARP e INATMARP

Los protocolos ATMARP e INATMARP tie-

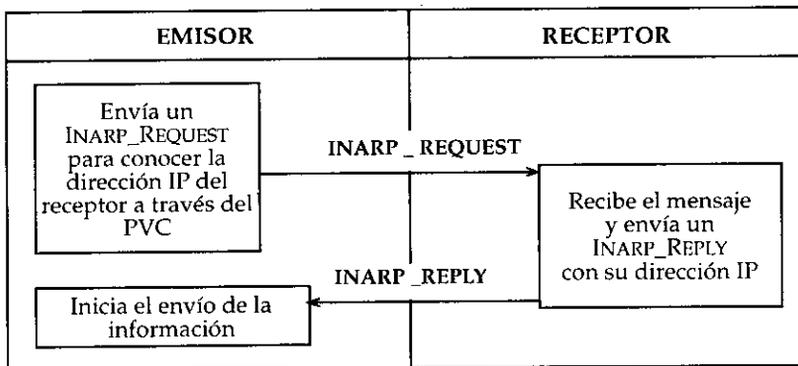


Figura 3. Resolución de direcciones para conexiones virtuales permanentes

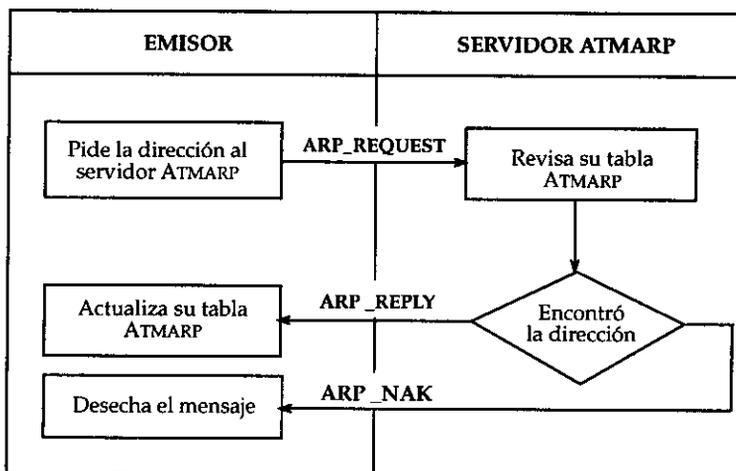


Figura 4. Resolución de direcciones para conexiones virtuales conmutadas

nen varios campos, con los siguientes formatos y valores:

- **ar\$hrd**: Longitud: 16 bits. Tipo de *hardware*. Familia de direcciones asignadas por el *ATM Forum*, con una longitud de 19 decimales (0x0013).
- **ar\$pro**: Longitud: 16 bits. Tipo de protocolo. Para IP, el valor de este campo es 0x0800.
- **ar\$shrl**: Longitud: 8 bits. Tipo y longitud del número ATM de la fuente (q).
- **ar\$ssrl**: Longitud: 8 bits. Tipo y longitud de la subdirección ATM de la fuente (r).
- **ar\$op**: Longitud: 16 bits. Código de operación. En decimal se tienen los siguientes valores: ARP\_REQUEST = 1, ARP\_REPLY = 2, INARP\_REQUEST = 8, INARP\_REPLY = 9, ARP\_NAK = 10.
- **ar\$spln**: Longitud: 8 bits. Longitud de la dirección del protocolo de la fuente (s). Para IP, la longitud de las direcciones es 4.
- **ar\$thtl**: Longitud: 8 bits. Tipo y longitud del número ATM del destino (x).
- **ar\$stsl**: Longitud: 8 bits. Tipo y longitud de la subdirección ATM del destino (y).
- **ar\$tpln**: Longitud: 8 bits. Longitud de la dirección del protocolo del destino (z). Para IP es de 4.
- **ar\$sha**: octets. Número ATM de la fuente, ya sea E.164 o NSAPA ATM Forum.
- **ar\$ssa**: octets. Subdirección ATM de la fuente. Se utiliza NSAPA ATM Forum.
- **ar\$spa**: octets. Dirección del protocolo de la fuente.
- **ar\$tha**: octets. Número ATM del destino. E.164 o NSAPA ATM Forum.
- **ar\$tsa**: octets. Subdirección ATM del destino. NSAPA ATM Forum.
- **ar\$tpa**: octets. Dirección del protocolo del destino.

#### 4.2. Actualización de la tabla ATMARP

Un cliente o servidor ATMARP debe tener conocimiento de todos los VCs que posee (permanentes o conmutados), su asociación con una entrada en la tabla ATMARP, y en particular, cuáles VCs soportan encapsulamiento LLC/SNAP.

Las entradas en la tabla del cliente ATMARP son válidas por un período máximo de 15 minutos. Las entradas en la tabla del servidor ATMARP son válidas por 20 minutos. Antes de actualizar una entrada en la tabla ATMARP, el servidor ATMARP debe generar un INARP\_REQUEST en todos los VC abiertos asociados con dicha entrada. Si un INARP\_REPLY es recibido, esa entrada en la tabla es actualizada y no es borrada. Si no hay abierto ningún VC asociado con la entrada en la tabla, ésta es borrada.

Cuando una entrada de la tabla ATMARP expira, el cliente ATMARP debe invalidar la entrada en la tabla. Si no hay abierto ningún VC asociado con la entrada inválida, la entrada es borrada. Si existe una entrada inválida y un VC abierto, el cliente debe revalidar la entrada antes de transmitir cualquier información de resolución de direcciones en dicho VC. En el caso de un PVC, el cliente valida la entrada transmitiendo

un INARP\_REQUEST y actualizando la entrada cuando reciba un INARP\_REPLY. En el caso de un SVC, el cliente valida la entrada transmitiendo un ARP\_REQUEST al servidor ATMARP y actualizando la entrada cuando reciba un ARP\_REPLY. Si un VC con una entrada inválida en la tabla ATMARP es cerrada, dicha entrada es removida.

#### 4.3. Encapsulamiento de los paquetes ATMARP/INATMARP

Los paquetes ATMARP e INATMARP deben ser codificados en las PDUs AAL5 utilizando encapsulamiento LLC/SNAP. El formato del campo de carga AAL5 CPCS-SDU para las PDUs ATMARP/INATMARP se ilustra en la figura 5.

#### 5. Soporte para la señalización de IP sobre ATM

En un ambiente de Conexiones Virtuales Conmutadas (SVCs), las conexiones virtuales ATM (VCCs) son dinámicamente establecidas y liberadas. Esto se logra utilizando el protocolo de señalización de control, que opera entre los sistemas terminales ATM (nodos IP) y la red ATM (*backbone* ATM). Los procedimientos de señalización incluyen el uso de los protocolos de direccionamiento explicados anteriormente. También pro-

0xAA-AA-03	0x00-00-00	0x08-06	Paquete ATMARP/INATMARP
(LLC)	(OUI)	(Ethertype)	

Figura 5. Formato del campo de carga AAL5 CPCS-SDU para las PDUs ATMARP/INATMARP

vee mensajes de negociación entre puntos terminales ATM para la selección del protocolo punto a punto (AAL5) y sus parámetros. A continuación se describirá cómo actúa el protocolo de señalización para soportar IP sobre ATM y cuál es la información intercambiada para este efecto.

### 5.1. Procedimientos y mensajes de llamada de configuración de señalización (UNI)

Los mensajes de señalización UNI utilizados para conexiones/llamadas de control punto a punto son los siguientes:

Configuración de la llamada:

- SETUP
- CALL PROCEEDING
- CONNECT
- CONNECT ACKNOWLEDGE

Liberación de la llamada:

- RELEASE
- RELEASE COMPLETE

El algoritmo que debe seguirse para el establecimiento de una llamada se

ilustra en la figura 6.

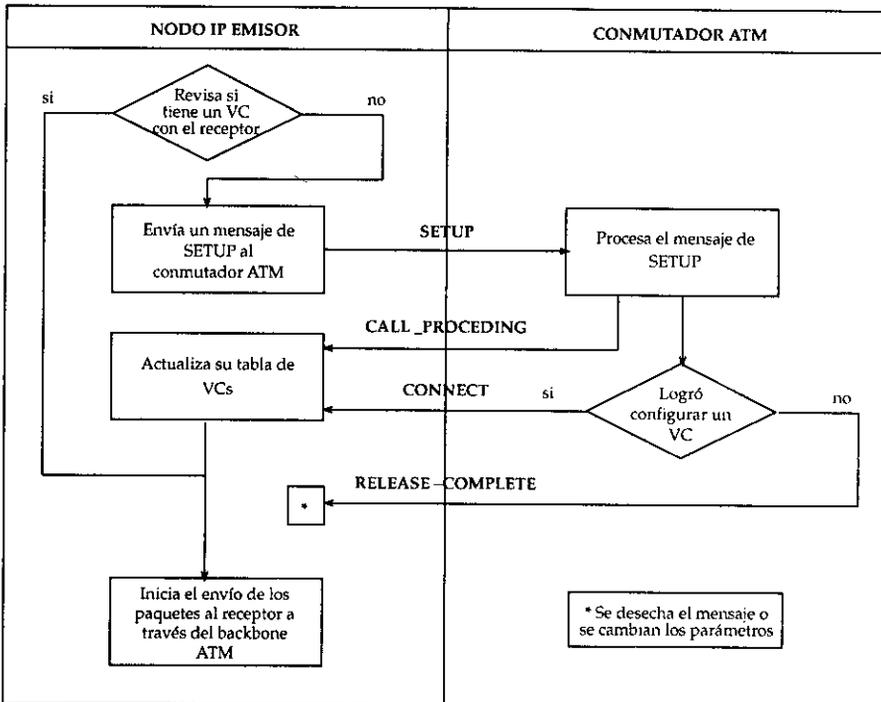


Figura 6. Configuración de una conexión

## 5.2. Contenido de los mensajes de establecimiento de la llamada

Los mensajes de señalización están estructurados para contener elementos de información (*IEs Information Elements*) de longitud variable, obligatorios u opcionales. Los IEs se subdividen en grupos de octetos, los cuales están divididos a su vez en campos. Los IEs contienen información relacionada con la llamada, la cual es relevante para la red, para el punto terminal o para ambos. La selección y el contenido de los IEs obligatorios y opcionales en un mensaje de SETUP determina los participantes y la naturaleza de la comunicación.

Estos mensajes en general deben contener los siguientes IEs:

- Parámetros AAL (*AAL Parameters*)
- Descriptor de Tráfico ATM (*ATM Traffic Descriptor*)
- Capacidad de difusión del portador (*Broadband Bearer Capability*)
- Información de difusión de las capas inferiores (*Broadband Low Layer Information*)
- Parámetros de Calidad y Servicio (*QoS Parameter*)
- Número del sistema llamado (*Called Party Number*)
- Número del sistema que llama (*Calling Party Number*)

Y debe en ciertas circunstancias contener los siguientes IEs:

- Subdirección del sistema llamado (*Called Party Subaddress*)

- Subdirección del sistema que llama (*Calling Party Subaddress*)
- Selección de la red de tránsito (*Transit Network Selection*)

## 5.3. Causas de falla en el establecimiento de una llamada

Si un intento de llamada ATM falla con una de las siguientes causas, la situación debe ser tratada como inalcanzable por la red (si el sistema final ATM llamado es un encaminador) o inalcanzable por el servidor (si el sistema final ATM llamado es un servidor):

- # 1, número no localizado (no asignado); # 3, no existe ruta hacia el destino; # 17, usuario ocupado; # 18, ningún usuario responde; # 27, destino inalcanzable; # 38, red inalcanzable; # 41, falla temporal; # 47, recurso no disponible, inespecificado.

Si una llamada ATM falla con una de las siguientes causas, el sistema final ATM puede tratar de volver a efectuar la llamada, cambiando (o adicionando) los IEs indicados por el código de la causa y el diagnóstico:

- # 2, ningún encaminador para la red de tránsito especificada; # 21, llamada rechazada; # 22, número cambiado; # 23, usuario rechazó la llamada con CLIR; # 37, tasa de células de usuario no disponible; # 49, calidad de servicio no disponible; # 57, capacidad de portador no autorizada; # 58, capacidad de portador no disponible actualmente; # 65, ca-

pacidad de portador no implementada; # 73, combinación de parámetros de tráfico no soportada; # 88, destinación incompatible; # 91, selección de red de transmisión inválida; # 78, parámetros AAL no pueden ser soportados.

#### 5.4. Configuración de los Vcs

Una llamada ATM se da entre un sistema final ATM y la red cuando éste requiera de los servicios de la red ATM. En nuestro caso, cuando un servidor IP necesita utilizar el *backbone* ATM. El dueño de un VCC existente es la entidad dentro de un sistema final ATM que establece la conexión.

Un sistema terminal ATM puede establecer una llamada ATM cuando tenga un datagrama que enviar y no haya un VCC que pueda ser utilizado para este propósito, ya sea porque no puede utilizar un VCC existente o porque el dueño del VCC no permite compartirlo.

Para evitar el establecimiento de múltiples VCCs para la misma estación final, ésta puede asociar su «número de sistema que llama» en el mensaje de SETUP durante el establecimiento del VCC. Este VCC puede ser utilizado para transmitir paquetes de datos a la estación para la cual la resolución ATMARP dio como resultado una dirección ATM que coincide con la asociada al «número de sistema que llama».

#### 5.5. Soporte de múltiples Vcs

Los sistemas deben ser capaces de soportar múltiples conexiones entre nodos similares (sin importar qué sistema inició cada conexión). Estos se deben configurar para permitir sólo una de dichas conexiones al tiempo.

Si un receptor acepta más de una llamada de un único recurso, éste debe aceptar los PDUs que provengan de las conexiones adicionales, y puede transmitir en las conexiones adicionales. Los receptores no pueden aceptar la llamada adicional sólo para cerrar la conexión, o ignorar los PDUs de dicha conexión.

De esta forma, se puede permitir (por configuración) una única conexión para algunos destinos. Sólo en este caso si una llamada es recibida mientras que una petición está pendiente, la llamada que acaba de llegar puede ser rechazada. Esto da como resultado una falla al establecer la conexión, en cuyo caso cada sistema debe esperar un tiempo entre 1 y 10 segundos antes de volver a intentar iniciar la conexión. Los sistemas deben adicionar un incremento aleatorio, con un rango exponencial.

#### 5.6. Caída de un VC

Un sistema final puede cerrar una conexión. Si la conexión es cerrada o «reiniciada» mientras que un datagrama estaba siendo transmitido, éste se pierde. Los sistemas deben ser capaces de configurar un tiempo mínimo de mantenimiento para que las conexiones permanez-

can abiertas mientras los sistemas finales están funcionando. Este puede ser de 60 segundos.

Se puede utilizar un contador de inactividad que corte las conexiones que no se han utilizado por algún período de tiempo (se recomienda 20 minutos)<sup>3</sup>. Si este contador se encuentra implementado, debe monitorear el tráfico en ambas direcciones de la conexión.

## Conclusiones

Acerca de IP Clásico podemos concluir que su principal aporte al diseño de soluciones para la interconexión entre ATM y TCP/IP radica en que la conexión entre estas dos tecnologías es directa, al contrario de protocolos como *LAN Emulation*<sup>4</sup>, que envuelven dos niveles de resolución antes de la transferencia de los datos. En LANE, una dirección IP debe ser convertida en una dirección MAC, y luego sí se busca su correspondencia con una dirección ATM. En IP Clásico, como se observó, un servidor llamado ATMARP realiza directamente la conversión de direcciones IP a direcciones ATM. Esto reduce un paso en el establecimiento de las conexiones, lo cual ayuda a minimizar el tráfico en la subred.

Sin embargo, IP Clásico fue diseñado

---

<sup>3</sup> RFC 1755.

<sup>4</sup> LANE es el protocolo de mayor uso en la actualidad para la interconexión entre ATM y otros protocolos.

exclusivamente para conectar IP con ATM, mientras que LANE soporta todo tipo de protocolos. Esta es una de las razones por las que IP Clásico se ha quedado en el campo teórico, ya que en la práctica un conmutador ATM muchas veces es utilizado para conectar subredes Ethernet que utilizan protocolos diferentes de IP.

Además, IP Clásico no utiliza adecuadamente las características QoS, ya que sólo permite configurar la Clase 0, carece aún de transparencia y no maneja eficientemente los mensajes de *broadcast* comunes en las redes LAN.

## Referencias

ATM Forum, *ATM User-Network Interface Specification*. Prentice-Hall. Septiembre 1993.

BRADELY, T., y C. Brown, «Inverse Address Resolution Protocol», RFC 1293, Wellfleet Communications Inc. Enero 1992.

Glosario dado por el ATM Forum en su página WWW: <http://www.atmforum.com>

HEINANEN, J., «Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5», RFC 1483, Telecom Finland. Julio 1993.

LAUBACH, M., «Classical IP and ARP over ATM», RFC 1577, Hewlett-Packard Laboratories. Enero 1994.

PARNELL, Terè. *Guía de Redes de Área Extensa*. España, McGraw-Hill, 1997.

PEREZ, M., LIAW, F., GROSSMAN, D., MANKIN, A., y A. HOFFMAN, «ATM signalling support for IP over ATM», RFC 1755, USC/Information Sciences Institute, FORE Systems, Inc., Motorola Codex, Ascom Timeplex Inc. Enero 1995.

STALLINGS, William. *ISDN and Broadband ISDN with Frame Relay and ATM*. E.U., Prentice-Hall, 1995.

White Papers de 3COM:  
<http://www.3com.com>