

Redes ATM, Ethernet, IP

1. Redes LAN, Ethernet e IEEE 802.3

Las bases de la red Ethernet han sido establecidas en 1980, por las empresas de USA, DEC, Intel y Xerox (DIX). Posteriormente el Comité 802 (año 1982, mes 2) del IEEE, se encargó de normalizar todos los estándares LAN existentes al momento, Ethernet, Token Bus y Token Ring. Ambos organismos consideraron inicialmente, LAN establecidas con cables coaxiales y velocidades de 10 Mb/s.

En la red Ethernet, se ideó el mecanismo de Acceso al medio compartido CSMA/CD, para una topología tipo bus. El formato de su trama dispone dos campos para las direcciones destino y fuente, un campo que indica el tipo de protocolo que se halla encapsulado en su campo de datos y un campo CRC (Cyclic Redundancy Code), que permite detectar errores en la transmisión. El tamaño establecido para cada uno de estos campos se indican en la Fig. 1.

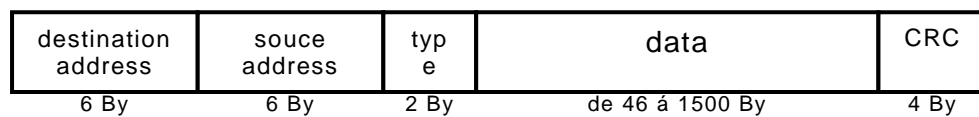


Fig. 1 - Formato de trama Ethernet

En esa fecha se estableció que las direcciones Ethernet fuesen mundialmente únicas, por cada placa de red de las PC.

Por otra parte el IEEE normalizo las LAN existentes a ese momento. Se tuvo en cuenta dos tipos de topologías, bus y anillo y tres tipos diferenciados de acceso al medio, el CSMA/CD, Token Bus y Token Ring. Así, se generó las normas 802.3, 802.4 y 802.5. La primera 802.3 se corresponde con cierta variación a la red Ethernet original, el segundo estándar 802.4 corresponde a la red Token Bus y la 802.5 a la red Token Ring.

El IEEE, además dividió la Capa 2 en dos subniveles, el inferior como control-de-acceso-al-medio MAC, diferente para cada una estas tres redes LAN 802.3, 802.4 y 802.5, y la superior como control-de-enlace-lógico LLC, común a las redes IEEE 802 y con norma 802.2 (Fig. 2).

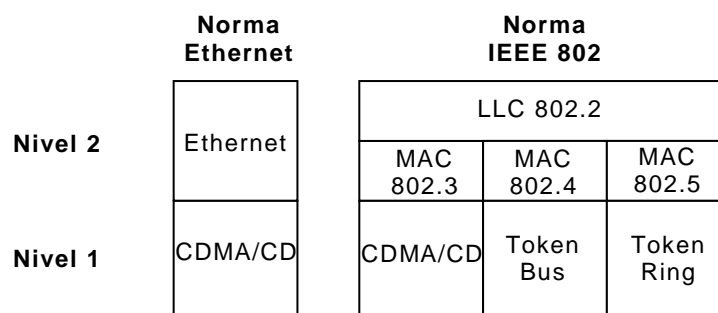


Fig. 2 - Norma Ethernet vs. norma IEEE 802

Observamos que las redes 802.4 y 802.5 difieren en su topología y técnica de acceso al medio respecto a las redes Ethernet, mientras ellas tienen mucha analogía con las IEEE 802.3.

Debido a estas características similares, para el análisis de las LAN, abordamos el estudio de las redes Ethernet y las redes IEEE 802.3. Posponiendo el de las redes Token Bus y Token Ring para más adelante y por separado.

Vimos que en las redes IEEE 802.3, operan en Capa 2 los protocolos MAC y LLC, como dos subniveles. La trama del protocolo LLC (802.2) se encapsula siempre en la trama MAC, ya sea en la 802.3, 802.4 ú 802.5.

Esta trama LLC, está formada por dos campos de identificación como Punto de acceso al servicio SAP (Service Access Point), uno DSAP de destino y uno SSAP de origen, un campo CTL de identificación del tipo de trama LLC y por último el campo Data, de datos. Su tamaño concordará con el tamaño del campo de datos de la trama MAC, donde ella se encapsula.

La trama MAC a su vez tiene dos campos de direcciones, de destino y de origen, un campo indicador de longitud de la trama y un campo CRC (Fig. 3).

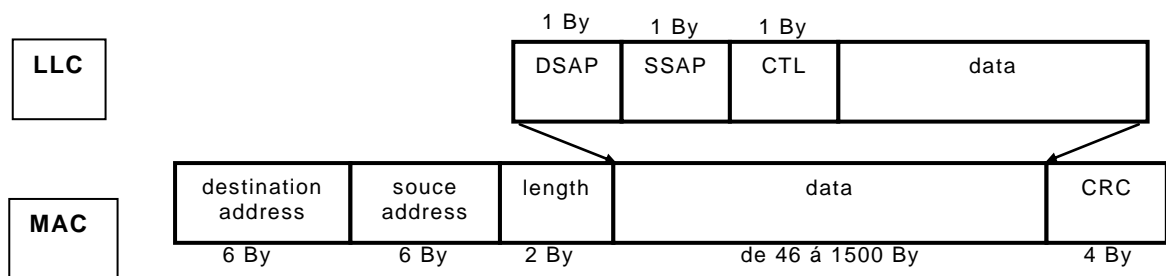


Fig. 3 - Formato de tramas MAC/LLC IEEE 802.3/802.2

El protocolo LLC asimismo, permite dos modos de funcionamiento. Mientras que LLC1 ofrece un servicio sin conexión y sin control de errores y de flujo, en LLC2 ofrece un servicio orientado a la conexión y dispone de control de errores y de flujo.

Al normalizar las LAN el IEEE, tomaron la responsabilidad de la asignación de las direcciones MAC de las LAN 802.3, 802.4 ú 802.5, hasta ese momento establecidas por DIX como direcciones Ethernet a nivel mundial.

A la hora de asignar direcciones, de los 6 byte (By) dedicados al campo direccional, se fijo los 3 primeros By como de Organización de identificador único OUI (Organization Unique Identifier). Al ser 3 By, les corresponden 24 bit, o sea, se dispone de 2^{24} bloques de direcciones. Del primero de estos 3 By, o sea el más significativo, se especifica el último bit como G/L (Global /Local) y el penúltimo bit, como G/I (Group /Individual). El G/L indica si la dirección esta asignada o no por el IEEE, mientras que el G/I permite distinguir si la dirección pertenece a un único destino o a un grupo de destinatarios (Fig. 4).

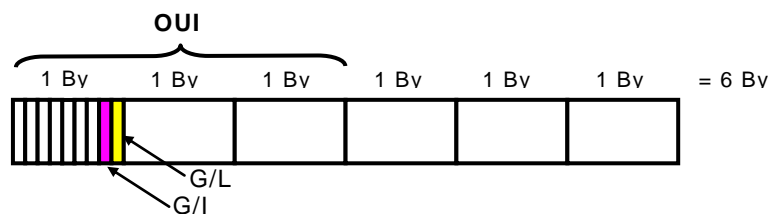


Fig. 4 - Formato del campo de dirección MAC

La red Ethernet original, ha sido reemplazada por la red IEEE 802.3, asimismo en la práctica, por simplicidad ha tomado su designación.

2. Redes MAN y WAN

Al presente, las redes MAN han sido desplazadas por el flexible uso de redes WAN. Para las redes WAN, la utilización del modo de transmisión asintótico ATM y sobretodo del protocolos Internet IP, parecen ser los métodos únicos al futuro. La multiplexación y el transporte a altas velocidades se facilitan mediante la transmisión SONET/SDH y la DWDM. Sin embargo por el uso histórico existen otras varias técnicas, las que deberemos recorrer en su exploración.

2. 1. Redes X.25

El CCITT en 1976 emite la recomendación que define el acceso de datos a las redes públicas de telecomunicaciones, denominada X.25. En 1993 se ha emitido su última revisión. Se trata de un estándar que opera con técnica de conmutación de paquetes, en circuito virtual. Para la Capa 1 la interfaz física es X.21, en Capa 2 el protocolo de enlace es LAP-B y en Capa 3 se dispone el protocolo de red X.25 PLP (Packet Layer Protocol) que dispone de control de errores y de flujo.

El enlace X.25 se establece mediante el Equipamiento terminal de datos DTE (Data Terminal Equipment) y el Equipamiento de terminación de circuito de datos DCE (Data Circuit Terminating Equipment, ubicados en cada extremo de la línea (Fig. 5).

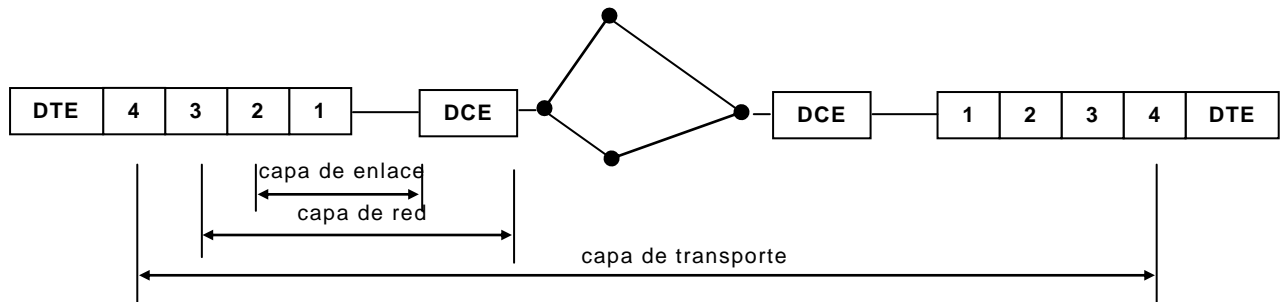


Fig. 5 - Enlace X.25 según el modelo OSI

El campo de datos mas empleado es de 128 By. La velocidad digital típica es de 48 Kb/s.

2. 2. Estándar PPP

El IAB de USA, en 1994, ha desarrollado el Protocolo punto a punto PPP (Point to Point Protocol), como enlace de datos punto a punto. Se emplea en general, en redes telefónicas conmutadas. Incluye como auxiliar al Protocolo de control de enlace LCP (Link Control Protocol). Su formato de trama corresponde al preformado de HDLC de ISO (Fig. 6).

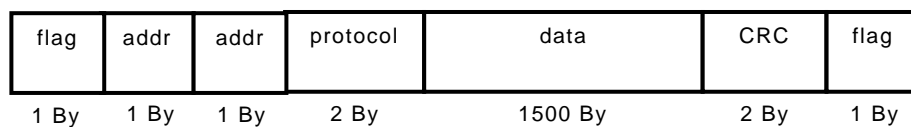


Fig. 6 - Formato de trama PPP

2. 3. Redes FDDI

El ANSI de USA, ha desarrollado como estándar de red MAN, el Interfase de distribución de datos por fibra óptica FDDI. El mismo se caracteriza por emplear el mecanismo de acceso al medio compartido por paso de testigo, con velocidad digital de 100 Mb/s, sobre fibra óptica.

Este estándar emplea el mismo esquema de direccionamiento IEEE 802 y su protocolo LLC 802.2. El formato de trama FDDI es similar al de Token Ring. El primer campo, preámbulo, sirve al sincronismo de la trama. Le prosigue el Delimitador de comienzo SL (Start Delimiter), el Control de trama (Frame Control), los campos de direccionamiento de destino y de origen, el campo de datos, un campo de chequeo (Checksum), el Delimitador de fin (End Delimiter) y por último el Estatus de trama (Frame Status) (Fig. 5).

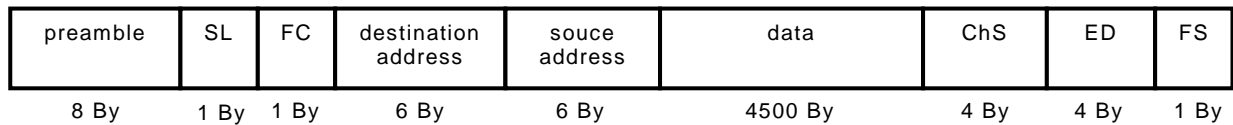


Fig. 5 - Formato de trama FDDI

3. Interconexión mediante routers IP

El protocolo IP (Internet Protocol) fue diseñado a fines de los años 1970 para resolver problemas de interconectividad en la red ARPA de USA. El mismo ha significado una solución para la interconexión de redes de datos.

El protocolo IP emplea como elemento de interconexión y enrutador, el denominado enrutador o router. Al estar conectado por lo menos a dos redes y poder operar con ellas, debe tener la facultad de incorporar y comunicarse con los protocolos de cada una de ellas independientemente de sus tecnologías.

Al conjunto de redes interconectadas mediante routers se le denomina internet, mientras que a cada una de las redes que se interconectan se las denominan subred. En particular la internet que emplea el protocolo IP para formar el conjunto interconectado de subredes abierto se denomina Internet. Todos los protocolos utilizados en Internet están normalizados por la IAB (Internet Architecture Board). En particular el protocolo IP está especificado en el documento RFC 791.

El protocolo IP proporciona un servicio sin conexión, caracterizado mejor como "de mejor esfuerzo" (Best Effort), puesto que no garantiza que los datagramas se entreguen, ni en tiempo ni en secuencia de emisión.

El protocolo IP no se adecua al modelo OSI, permite la coordinación entre estaciones y routers en el conjunto interconectado de subredes y es independiente de las tecnologías empleadas en cada una de ellas. Hace uso del servicio que cada una de las subredes le proporcionan y a su vez provee servicio a la capa de transporte. En la capa de transporte, los protocolo empleados conjuntamente con IP, podrán ser el Protocolo de control de transporte TCP (Transport Control Protocol), como el Protocolo de datagrama del usuario UDP (User Datagram Protocol).

La unidad de datos del protocolo IP se denomina datagrama. Los datos se encapsulan en un datagrama en la estación origen y desencapsulados en estación destino. Los datagramas encapsulados a su vez en paquetes, son transmitidos a través de la red origen hacia un router, donde se produce el proceso de retransmisión (forwarding), encaminándolos por la red de destino.

Estos paquetes son pequeños tramas de datos, que según el tipo de red donde operan podrán competir en el acceso a un medio compartido caso de una red Ethernet o sufrir en el router un proceso de conmutación de paquetes caso de un enlace X.25 (Fig. 6).

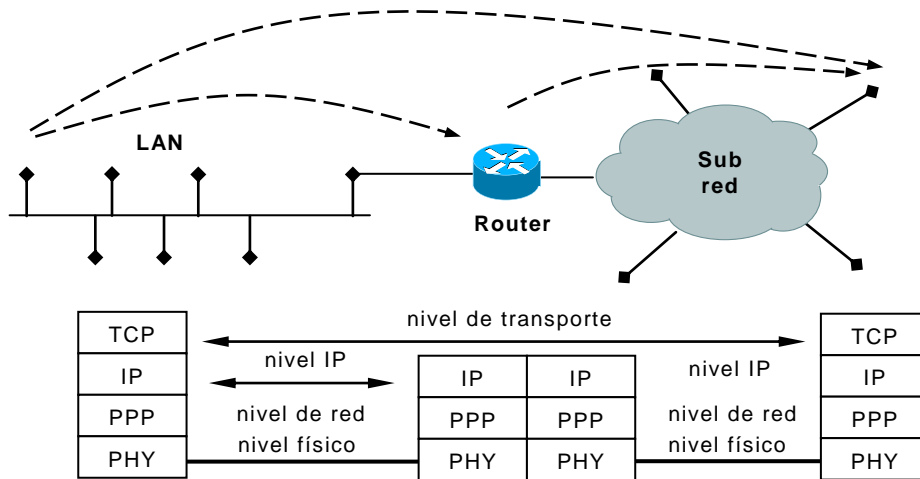


Fig. 6 - Arquitectura de protocolos en una internet IP

3. 1. Formato de datagrama IP

El formato de datagrama IP contiene una cabecera (Header) de 24 By, con un mínimo de 20 By, si no se emplean los campos opcionales, en cualquier caso deberá ser un múltiplo entero de 4 By (ya que la cabecera se compone de filas de 32 bit) (Fig. 7).

Vers	Hlen	Service type	Lenght 16 bit	
Identification 16 bit		Flags	Fragm. offset 12 bit	
Time to live	Protocol 8 bit	Header checksum 16 bit		
Souce IP address 32 bit = 4 By				
Destination IP address 32 bit = 4 By				
IP options 24 bit			Padding	
Data				

Fig. 7 - Formato de datagrama IP

El campo VERS permite la coexistencia de diferentes versiones de IP (IPv4 ó IPv6) en la misma Internet (4 bit). El campo HLEN indica el tamaño de cabecera (4 bit) y el campo Lenght del total del datagrama (16 bit). Los campos de direcciones son el Souce IP address como origen (32 bit=4By) y el Destination IP address, como destino (32 bit=4By). Los restantes campos se describirán en el análisis de reensamblado de un datagrama.

El protocolo IP, dispone un servicio de Best Effort, por lo que contempla un campo Service type (8 bit), el que define la calidad de servicio requerida. Este campo está constituido por los subcampos Precedence (3 bit) para indicar la prioridad de entrega del datagrama, siendo el valor 7 el valor máximo. El bit D (Delay) explica un retardo de propagación (bit D=1), el bit T (Throughput) un retardo de transmisión (bit T=1) y el bit R (Reliability) que llegue con la mayor garantía posible (bit R=1) (Fig. 8).

Precedence	D	T	R	no usado
3 bit	1 bit	1 bit	1 bit	2 By

Fig. 8 - Campo Sevice type del Header de IP

3. 2. Encapsulado IP

Especificar el encapsulado del datagrama IP en cada subred, implica la especificación del valor del campo de la trama o el paquete de subred, que identifica el protocolo de capa superior encapsulado en su campo de datos. Asimismo implica la fijación de aquellas opciones permitidas por cada subred.

La MTU (Maximum Transfer Unit) de una subred se define como el tamaño máximo en byte del datagrama que puede ser encapsulado. Esta relacionado con el campo de datos que permite la trama o paquetes de cada subred.

Para encapsulara un datagrama IP en una trama Ethernet (ó PPP), se ha especificado un valor de MTU igual a 1500, que coincide con el tamaño del campo de datos en Ethernet. Para FDDI se ha especificado un MTU de 4352.

Vimos que el LLC, de la red IEEE 802, dispone en su cabecera de los campos SSAP y DSAP, respectivamente como Punto de acceso al servicio SAP, origen y destino. Ambos campos de un solo By. Estos campos definen el protocolo de capa superior encapsulado en el campo de datos de esa misma trama LLC. Los bit G/L y G/I son establecidos con similares funciones que en la trama MAC.

Puesto que los campos de dirección disponen solo de un By, se reservó un identificador SAP = AA con un nuevo protocolo denominado Protocolo de acceso de subred SNAP (Subnetwork Access Protocol). Así los datagramas IP deberán ser encapsulados en la trama SNAP, la que se encapsula en la trama LLC, la que a su vez se encapsula en la trama MAC, para ser luego transmitida mediante tramas LAN IEEE 802.3, 802.4 ú 802.5 (RFC 1052), o también del tipo FDDI (RFC 1390) (Fig. 9).

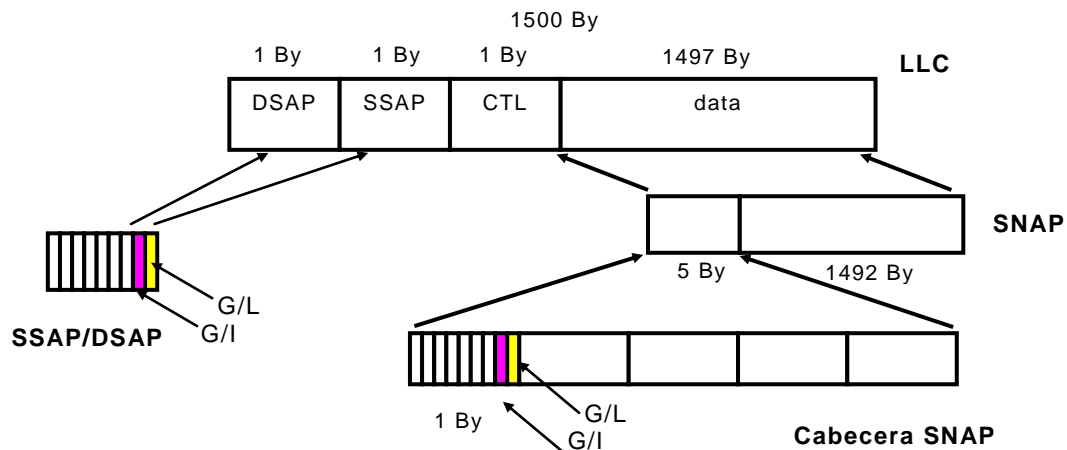


Fig. 9 - Encapsulado LLC/SNAP

3. 3. Direcciones IP

Vimos que las direcciones Ethernet tienen un tamaño de 6 By. Las IP, por el contrario comprenden solo 4 By (32 bit). Por ejemplo 10011110 00101001 00100010 00011010, que codificado en base decimal se lee: 158.41.34.26. Una dirección IP identifica en forma única a una estación dentro de una red Internet. Esta dirección consta de dos partes:

- netid que identifica a la subred
- hostid que identifica a la estación dentro de esta subred

Se distinguen cinco distintas clases de direcciones IP, según se requiera mayor número de bit para identificar una subred, o para identificar las estaciones (Fig. 10).

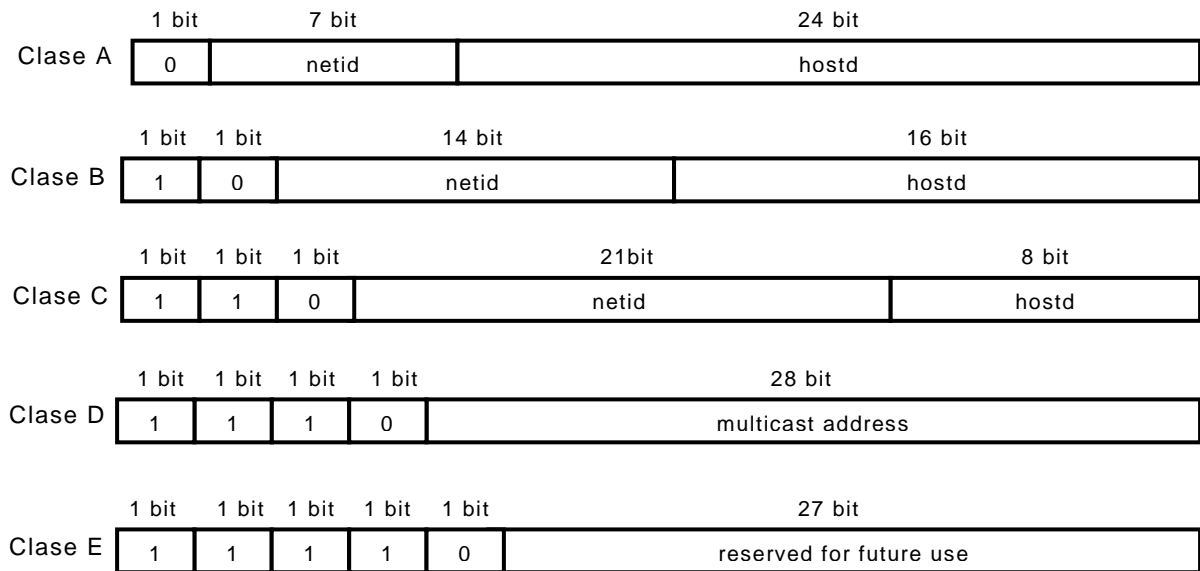


Fig. 10 - Clases de direcciones IP

Vemos que la clase a la que pertenece una dirección IP esta codificada según los primeros bit del código. El primer bit si es igual a 0 indica Clase A, los dos primeros bit igual a 10 indica Clase B y los tres primeros bit igual a 110 indica Clase C.

Se puede observar en el ejemplo dado anteriormente, con dirección IP 158.41.34.26, que se tratará de una estación de dirección clase B, pues comienza en el valor 10. Podemos inferir además que estas direcciones IP definen además de la subred, clase de dirección.

El Caso A reserva 7 bit para el netid y 24 bit para el hostid, es decir que se cuenta con la posibilidad de identificar $2^7=128$ subredes y $2^{24}=16$ millones de estaciones. El Caso B es opuesto a éste, disponiendo de gran cantidad de redes y pocas estaciones, determinando el Caso B un valor intermedio de compromiso entre el Caso A y el Caso C.

Para aquel administrador de subred que cuente con gran cantidad de estaciones le será conveniente optar por la Clase A de direcciones, por el contrario, al administrador de una internet IP con gran cantidad de subredes le será conveniente optar por la Clase C.

En cada subred solamente se podrá optar por una única clase de dirección IP, sin embargo en una internet pueden coexistir distintas clases de subredes.

Cada estación queda identificada por un único número IP. Los routers por el contrario, son identificados por las subredes a las que está conectado, es decir que podrán contar con dos o más direcciones IP.

El organismo que asigna las direcciones IP para Internet es la IANA (Internet Assigned Number Authority).

3. 4. Resolución de direcciones en IP

Al abordar la tarea de interconectar redes se adopta un esquema de direccionamiento consistente en fijar direcciones homogéneas y superpuestas por cada estación o router

Ello significa que cada estación o router contará con dos direcciones, una física correspondiente a su posición en la subred y otra lógica según su posición en la internet IP.

Sea por ejemplo una subred del tipo Ethernet, donde se desea enviar un mensaje desde la estación (con dirección lógica IP) 158.41.2.10, a la estación 158.41.0.2. Como primer paso y mediante el Protocolo de resolución de direcciones ARP (Address Resolution Protocol), se deberá conocer la dirección física de la estación destino, para luego recién entonces, enviar el mensaje (Fig. 11).

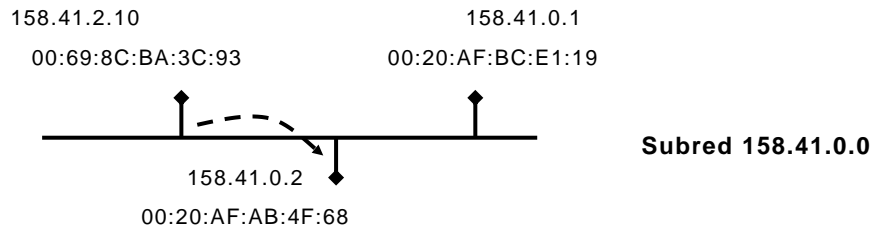


Fig. 11 - Resolución de direcciones en IP

Para ello, la estación origen prepara el datagrama IP, cuya cabecera cuenta con esas direcciones IP lógicas, de origen y de destino, que encapsula en una trama Ethernet. En la trama Ethernet deberá indicarse la dirección física MAC de origen, 00:69:8C:BA:3C:93.

Una de las características de las LAN es que disponen de la capacidad de difusión, por la cual se permite entregar una trama a todas las estaciones de la subred. Para ello como destino indica todos 1, que corresponde en hexadecimal a FF:FF:FF:FF:FF:FF. El envío de esta trama de difusión, se realiza empleando el protocolo de resolución de direcciones ARP.

En este caso, las estaciones de destino no solo almacenan las tramas cuya dirección de destino coincida con la suya, sino todas las que dispongan una dirección de difusión.

La estación destinataria al recoger la trama e identificarse como la destinataria de la petición de resolución, genera a su vez un mensaje de respuesta de resolución. Este mensaje se encapsula en una trama que cuenta con las direcciones de destino, la dirección física MAC y la dirección lógica IP, respectivamente 00:69:8C:BA:3C:93 y 158.41.2.10, ambas tomadas del mensaje de petición ARP que recibió. Asimismo, envía sus propias direcciones 00:20:AF:AB:4F:68 y 158.41.0.2 (Fig. 12).

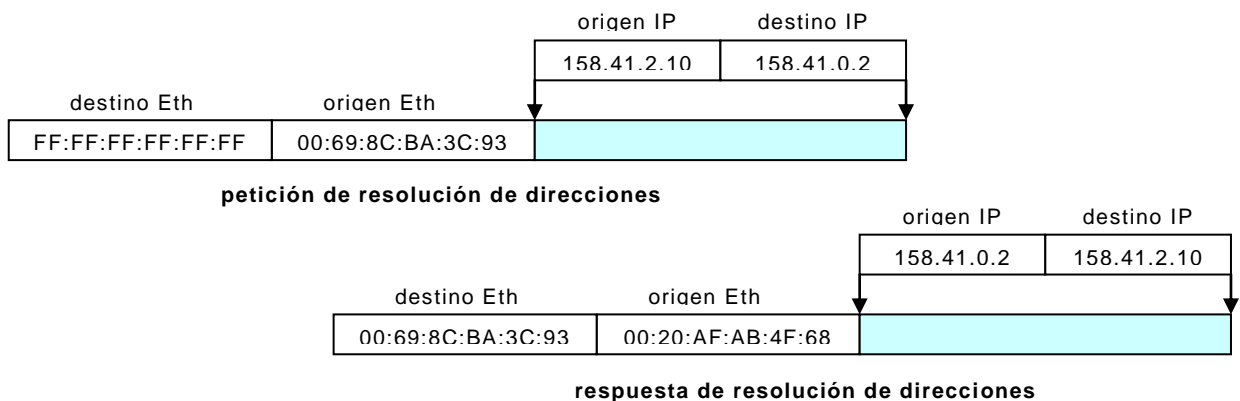


Fig. 12 - Intercambio de mensajes

Una vez que la estación origen, recibe y conoce la dirección física de la estación destino, recién entonces podrá enviar el datagrama IP mensaje, emplea para ello una trama unidestino.

3. 5. Formato del mensaje ARP

El mensaje ARP tiene el formato según el caso de aplicación. En nuestro ejemplo será del protocolo IP y de la red Ethernet (Fig. 13)

Hardware type 2 By		Protocol type 2 By
Hlen 1 By	Plen 1 By	Operation 2 By
Send HA 4 By		
Send HA 2 By		Send IP 2 By
Send IP 2 By		Target HA 2 By
Target HA 4 By		
Target IP 4 By		

Fig. 13 - Formato del mensaje ARP

donde:

Hardware type, identifica el tipo de subred.

Protocol type, identifica el protocolo de interconexión para el cual es aplicable la resolución; se emplea el mismo valor que el asignado en el encapsulado sobre trama Ethernet, el que se conoce como Ethertype.

Hlen, indica la longitud de la dirección física.

Plen, indica la longitud de la dirección lógica para la cual es aplicable la resolución.

Operation, distingue entre petición ARP y respuestas ARP.

Send HA, *Target HA*, contiene direcciones físicas cuya longitud viene indicada en Hlen.

Send IP, *Target IP*, contiene direcciones lógicas cuya longitud viene indicada en Plen.

En una petición ARP, el peticionario se identifica mediante Send IP y Send HA y formula su petición rellenando el campo Target IP. La estación que responde se identifica mediante Send IP y Send HA e identifica al destinatario de la respuesta en Target IP y Target HA. Los mensajes ARP se encapsulan en tramas Ethernet, para ello se asigna el valor Ethertype igual a 0806.

La operación básica descrita contiene ineficacias, para lo cual se incorporaron mejoras. Para evitar el uso del protocolo ARP en forma repetida cada vez que se tenga que enviar un datagrama IP las estaciones disponen de una tabla ARP con las direcciones físico-lógico ya resueltas en solicitudes anteriores. Se mantiene las resoluciones más recientes en memoria tipo caché. De esta forma se tiene una tabla limitada y actualizada. Para este fin, cuando una estación arranca difunde un mensaje ARP con el fin de dar a conocer su dirección física. También se ha normalizado que toda estación que recibe una petición ARP inserte una entrada en su tabla ARP, con datos de identificación de expedidor sender IP y sender ha.

A los efectos de la resolución de dirección, los routers muestran el mismo comportamiento descrito para las estaciones. En otros tipos de redes, por ejemplo en los casos sin capacidad de difusión, se implementan otros mecanismos alternativos, como ser el empleo de tablas estáticas en cada estación, o empleando servidores.

3. 6. Encaminamiento IP

Para los casos de envío de un datagrama IP, desde una estación de una cierta LAN a otra situada en otra red LAN, además de resolver el direccionamiento se deberá encara el encaminamiento ejercido por el /los) router /s involucrado /s.

Los routers podrán ejercer el reenvío (forwarding) o la conmutación (switching) de los datagramas, desde una subred a otra.

El encaminamiento, se efectúa en la posibilidad de que el router interconecte un número mayor de dos subredes. En este caso, el router no solo debe decidir a través de que subred reenviar el datagrama, sino también a cual de los routers conectados a su subred entregarlo.

El router discierne el encaminamiento, de reenvío por el mejor camino, basándose en la información de la estación destino que contiene el datagrama y de la tabla de encaminamiento que posee. Estas diferentes operaciones dependen del tipo de router y de su capacidad inteligente que opere. Se podrá resumir los procedimientos para el envío de un datagrama IP a través de una internet, analizando las operaciones de las estaciones y de los routers.

En el caso de una estación origen, ésta debe comparar el netid de la dirección destino del datagrama, con el netid de la dirección propia:

- 1º) Si son iguales: resolverá la dirección IP de la estación de destino, encapsulará y enviará la trama.
- 2º) Si son netid distintos: consultará la tabla de encaminamiento utilizando la dirección IP de destino, resolverá la dirección IP del router más conveniente, encapsulará y enviará la trama.

En el caso de router, éste debe comparar el netid de la dirección de destino del datagrama con el netid de las direcciones propias.

- 1º) Si hay coincidencia: resolverá la dirección IP de destino sobre la subred cuyo netid coincide.
- 2º) Si no hay coincidencia: consultará la tabla de encaminamiento utilizando la dirección IP de destino, resolverá la dirección IP del router siguiente que indique esa dirección de subred. encapsulará el datagrama v enviará la trama.

Sea el caso del envío de un datagrama IP desde la estación origen 158.41.2.10 a la estación destino 158.45.2.5, la que pertenece a una subred diferente de la estación origen. Consideremos en la subred 158.41.0.0, al 00:20:AF:AB:4F:68 y al 00:20:AF:BC:E1:19, vistos en la Fig. 11 como estaciones, en este caso en la función de routers (Fig. 14).

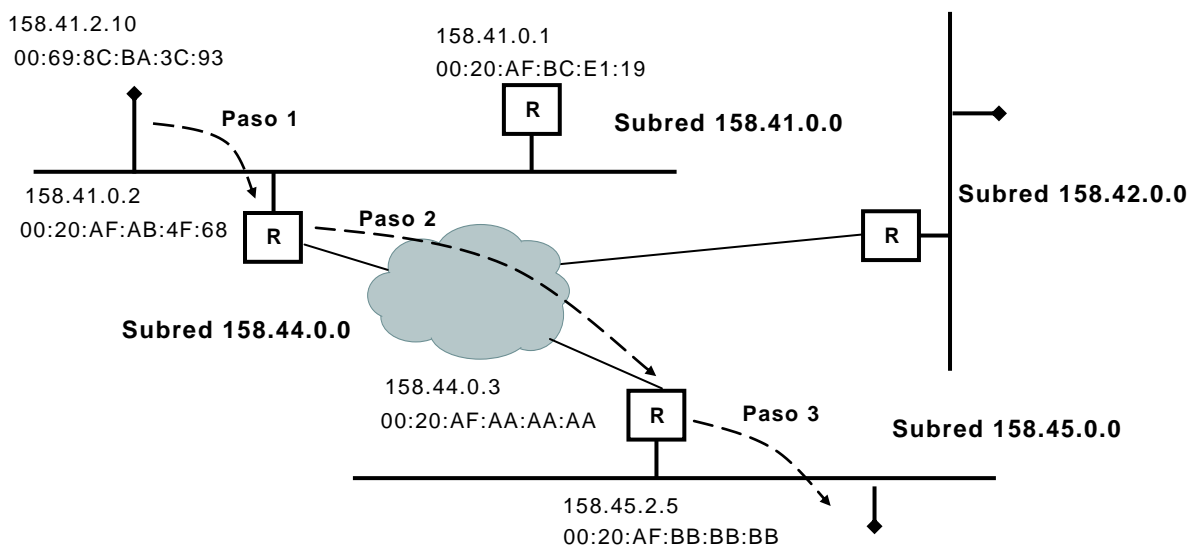


Fig. 14 - Forwarding de un datagrama IP

Si el número de subredes que interconecta un router es mayor que dos, la decisión de reenvío ha de basarse en determinada información de encaminamiento (routing).

Las tablas de encaminamiento (routing table) de la estación origen y de los routers intermedios, deben contener una entrada por cada una de las subredes remotas y por cada entrada, la dirección de IP del router que se considere más apropiado para hacer progresar y llegar al datagrama hasta destino.

Con el datagrama originado en 158.41.2.10 y con destino a 158.45.2.5, se determina a partir de su tabla de encaminamiento que el router 158.41.0.2, es el más conveniente para llegar a la subred 158.45.0.0. Para determinar esto, la estación origen 158.41.2.10, toma la dirección de destino 158.45.2.5 y de esta extrae su netid 158.45.0.0. Una vez definido este encaminamiento, el primer paso consiste en que esta estación origen 158.41.2.10, mediante el protocolo ARP y con su trama de difusión, resuelva la dirección física de este router 158.41.0.2. Para ello el router 158.41.0.2 encapsula su dirección física y la encamina a la estación origen solicitante (Fig. 15).

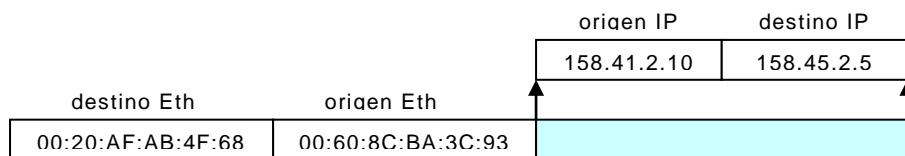


Fig. 15 - Resolución de la dirección del primer router

Una vez resuelta la dirección física del router del primer encaminamiento, la estación origen envía el datagrama IP de direccionamiento. Al recibir el datagrama este router lo desencapsula de la trama en que llegó y lo encapsula en la trama o paquete de la subred 158.44.0.0. A los fines de su reenvío, este router 158.41.0.2, debe efectuar la consulta en su tabla de encaminamiento y resolver la dirección física del router siguiente (Fig. 16).

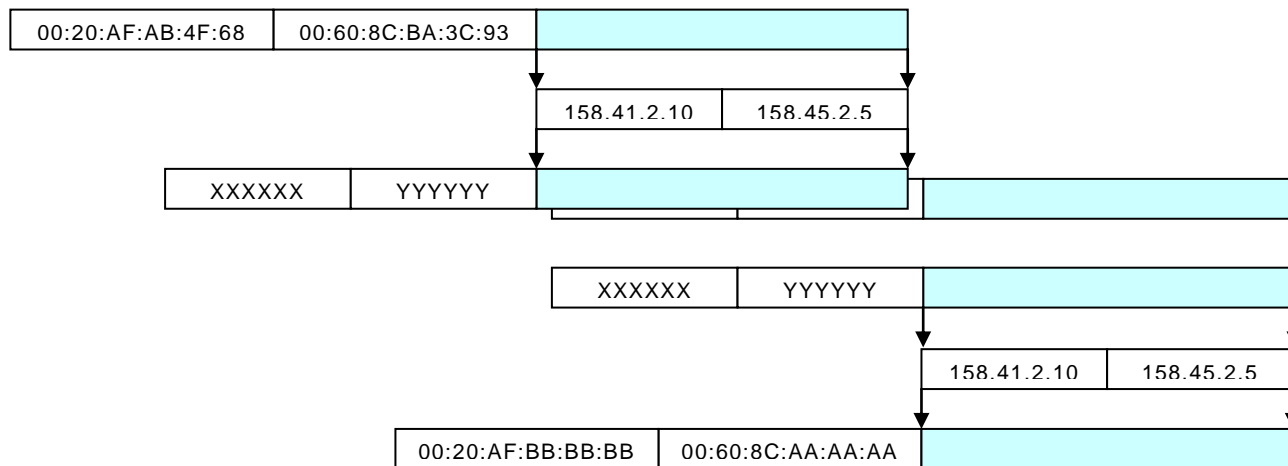


Fig. 16 - Encapsularlo IP en la trama de la subred 158.44.0.0

En el tercer paso, el router 158.44.0.3 una vez que recibió el datagrama IP y para el reenvío del mismo a la estación destino 158.45.2.5, no tiene que efectuar ninguna consulta pues el destino se encuentra en una de sus subredes. Una vez que llega el datagrama IP a este router, será encapsulado en la trama Ethernet de la subred 158.45.0.0 y enviado a la estación de destino 158.45.2.5. Para efectuar esta operación debe haber efectuado primero la resolución de la dirección física de esta estación 00:20:AF:BB:BB:BB, mediante el protocolo ARP. En la estación destino se encapsula su dirección física y envía al router origen de la solución de resolución de dirección 00:60:8C:AA:AA:AA (Fig. 17).

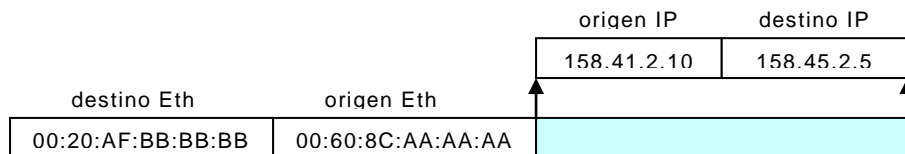


Fig. 17 - Resolución de la dirección de la estación destino

Se podrá inferir que, las direcciones IP no son modificadas en ningún punto del trayecto, mientras que las direcciones físicas de las tramas o paquetes, que las encapsulan son las apropiadas en cada momento.

Asimismo que, la información de encaminamiento, es decir la consulta de la tabla de encaminamiento solo se requiere en la estación origen y en router solamente para el caso de destino en una subred remota.

Se ha visto que pudimos identificar los destinos en la tabla de encaminamiento empleando únicamente los identificadores netid. Este ejercicio permite la reducción del tamaño necesario para las tablas de encaminamiento. Aún así, la cantidad de entradas en una tabla sería desmedido. Es por ello que se resumen generalmente varias entradas de la tabla en una entrada por defecto (default route). Se define como entrada por defecto a la entrada escogida cuando ninguna de las entradas anteriores es apropiada.

Queda por emprender el análisis de cómo rellenar las tablas de encaminamiento. Esta tarea ha sido emprendida por el Protocolo de encaminamiento IP, RIP (Routing IP Protocol, RFC 1058), actualmente el protocolo OSPF (Open Shortest Path First, RFC 1583), más complejo pero mucho más eficaz. Además se dispone del Protocolo de control de mensaje de Internet ICMP (Internet Control Message Protocol, RFC 792), que incorpora la función de notificación, ajustando las modificaciones de las tablas.

La entidad de los protocolos de encaminamiento en una Internet, reside en los routers, y hacen uso del protocolo IP para el intercambio de información del estado de los routers y sus subredes. A partir de esta información los routers computan los caminos óptimos y rellenan las tablas de encaminamiento. Por razones de simplificar el procedimiento, las estaciones no intervienen en los protocolos de encaminamiento.

Los algoritmos en que se basan los protocolos de encaminamiento IP, son los mismos que se emplean en las redes de conmutación. Existe una dualidad operativa entre routers y nodos de conmutación de paquetes, que entre subred y enlace.

Una estación, para el envío de un datagrama IP en una internet debe:

- 1º Comparar el netid de la dirección de destino del datagrama con el netid de la dirección propia.
- 2º Si son iguales: Resolver la dirección IP de destino. Encapsular.
- 3º Si son distintos: Consultar la tabla de encaminamiento utilizando la dirección IP de destino. Resolver la dirección IP del router. Encapsular.

Un router, para el envío de un datagrama IP en una internet debe:

- 4º Comparar el netid de la dirección de destino del datagrama con el netid de las direcciones propias.
- 5º Si hay coincidencia: Resolver la dirección IP de destino sobre la subred cuyo netid ha sido coincidente. Encapsular.
- 6º Si no hay coincidencia: Consultar la tabla de encaminamiento utilizando la dirección IP de destino. Resolver la dirección IP del router siguiente de la dirección destino. Encapsular.

3. 7. Fragmentación y reensamblado

Para comprender el proceso de fragmentación, al ejemplo visto agregaremos el valor de la Unidad de máxima transferencia MTU, para cada una de las subredes. Supongamos que las subredes de origen y destino tienen un valor de 1500 By por tratarse de redes Ethernet, mientras que a la red intermedia de enlace se le asigna un valor ficticio MTU de 620 By (Fig. 18).

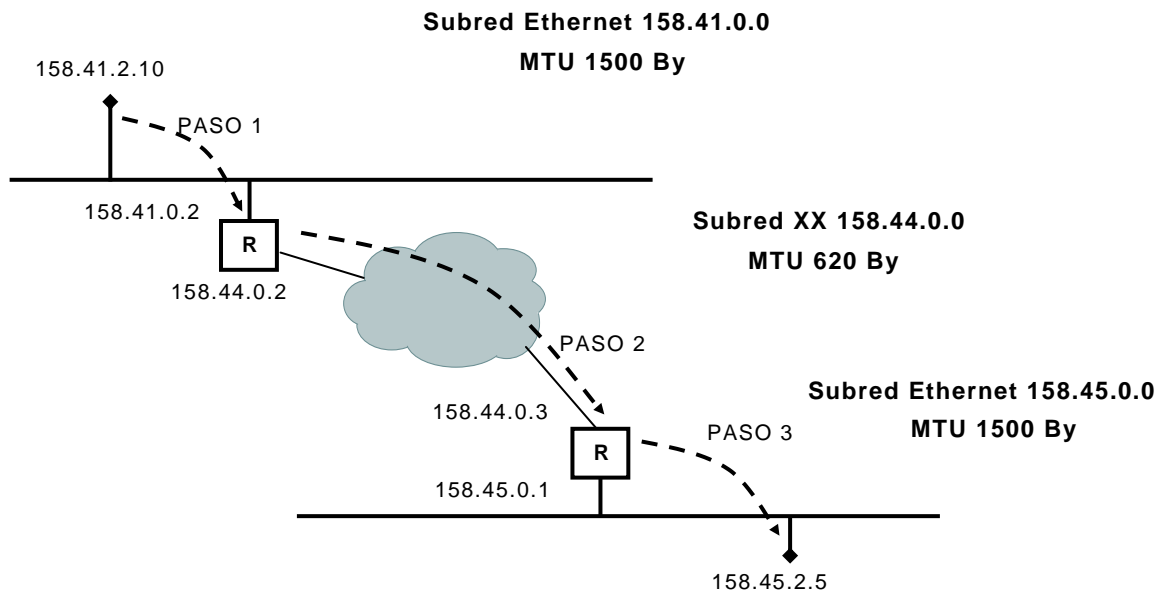


Fig. 18 - Unidades de máxima transferencia, MTU

En este caso, la estación origen 158.41.2.10, podrá generar un datagrama de tamaño igual o menor a 1500 By para su campo de datos, por ejemplo 1400 By. Con cabecera de 20 By. Este datagrama de 1420 By puede ser encapsulado en una trama Ethernet de la red 158.41.0.0 y de la red 158.45.0.0, no así por la red 158.44.0.0, de la que se desconoce su tecnología, pero si se sabe que dispone de un MTU de 620 By, lo que impide un encapsulado de datagrama de tamaño mayor al mismo.

Debido a que el protocolo internet IP opera en modo datagrama, lo que indica que el camino que recorre un datagrama IP no se determina hasta el momento de su conmutación en cada router y a que no se ejerce ningún tipo de coordinación entre la estación de origen y la de destino, se impide averiguar anticipadamente el valor mínimo de MTU.

Para salvar estos inconvenientes, se ha optado por dotar a los router de un mecanismo de fragmentación de aquellos datagrama que no dispongan del valor MTU impuesto por la subred a través de la cual se debe reenviar el datagrama.

En nuestro ejemplo se podrá efectuar la fragmentación 620 By + 620 By + 220 By.

Esta solución trae aparejado dos complicaciones en el funcionamiento de IP: 1º) Debe incorporarse un mecanismo de reensamblado y 2º) Debe incorporarse los campos necesarios de reensamblado en la cabecera del datagrama IP.

Se ha optado por efectuar el reensamble en la estación de destino, procedimiento denominado fragmentación internet, contrario al proceso de fragmentación intranet en donde el reensamblado se efectúa en cada router. La fragmentación Intranet obliga a los routers además de efectuar las funciones de conmutación y encaminamiento, agregar la función de reensamblado, lo que requiere mayor espacio de almacenamiento y un mayor tiempo de procesamiento total.

Los campos presentes en la cabecera del datagrama IP, que se emplean para el control de la fragmentación (Fig. 10), son: El campo Identification (16 bit), permite identificar cada datagrama generado y en caso de fragmentación discernir de que datagrama procede cada uno de los fragmentos a que diese lugar. El campo Fragment offset (12 bit), especifica la posición que el primer By del campo de datos ocupa en la secuencia completa de los datos que fueron encapsulados en el datagrama original. El campo Flags (4 bit), mediante el bit: do not fragment indica la prohibición de fragmentar, y el bit: more fragments indica ser el último fragmento de un datagrama.

4. Interconexión de LAN mediante puentes

En las subredes de Internet el tipo más común es el de LAN IEEE 802. Para la interconexión restringida a este tipo de redes LAN, el Comité IEEE 802, ha normalizado un mecanismo de interconexión alternativo al del protocolo IP. El mismo tiene la ventaja de su simplicidad al no estar basado en la superposición de un nuevo protocolo. Esta norma, para la interconexión hace uso del dispositivo denominado puente (bridge). Los puentes pueden interconectar LAN 802 de distinto tipo, pudiendo diferir en los protocolos físicos y/o de subcapa MAC, pero deben incorporar los mismos de subcapa LLC (Fig. 19).

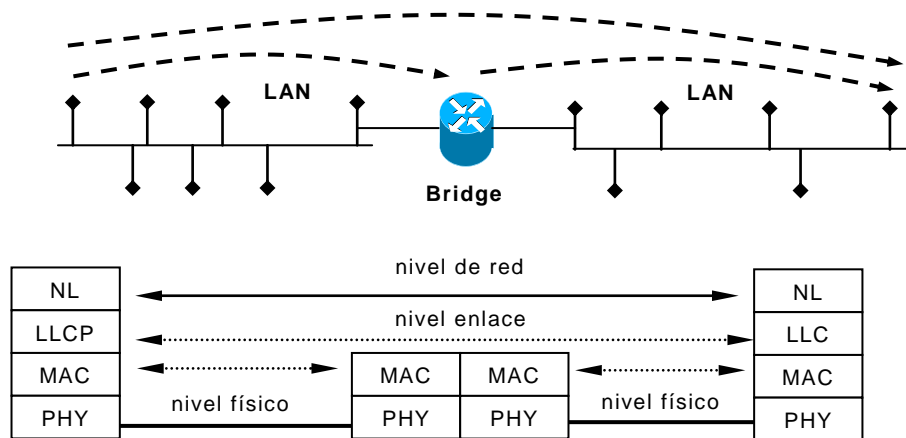


Fig. 19 - Internetworking mediante puentes

Los puentes realizan tareas de reenvío o conmutación al nivel de tramas (Capa 2), con diferencia a los routers que las realiza al nivel de datagrama (Capa 3). Ello implica que se basan en la información de la cabecera de las tramas, sin requerir la lectura de la cabecera de los paquetes de red o del datagrama IP, que pueda ir encapsulado en la trama.

Bajo la norma IEEE 802.1d el Comité IEEE 802 normalizó dos dispositivos de interconexión para las distintas LAN IEEE 802. Por una parte los Puentes Transparentes (Transparent Bridge), que permiten la interconexión 802.3 y redes 802.4 (Token Bus), en cualquier de sus tres posibles combinaciones, por otra parte los Puentes Source Routing que permiten la interconexión entre redes 802.5 (Token Ring). Los Puentes Source Routing son incompatibles con los Puentes Transparentes.

4. 1. Puentes Transparentes

Dos redes LAN IEEE 802 son capaces de interconectarse mediante Puentes Transparentes, sin requerir ningún otro elemento aparte de sus direcciones MAC. Al ser estas direcciones MAC únicas no hay peligro de duplicidad. Su modo operacional está dado en carácter promiscuo, con capacidad de almacenar y retransmitir (Store and Forward), al igual que los conmutadores de paquetes y los routers.

El modo promiscuo permite la operación heterogénea entre redes. El puente debe ser capaz de recibir todas las tramas que serán transmitidas a las redes a la cual se encuentra conectada. En el principio de Store and Forward, una vez recibida totalmente la trama esta se almacena, consulta una tabla de encaminamiento a partir de la información que extrae de la cabecera de la trama y basándose en esa información de dirección de destino, la retransmite a la LAN correspondiente.

La tabla de encaminamiento del puente contiene una entrada por estación de destino y para cada entrada determina el puerto por el que debe enviar la trama recibida con destino a la estación indicada en la entrada. Según la tabla de encaminamiento, el puente transparente podrá decidir reenviar la trama o descartarla, según se trate de un puerto diferente o igual al puerto por el cual la recibió. En el caso que en la tabla de encaminamiento no exista una entrada para la dirección de destino de la trama que recibe el puente inunda red con la trama que ha recibido todos los puertos de salida.

La actualización de las entradas de las tablas de encaminamiento de los puentes se efectúa por el procedimiento de aprendizaje hacia atrás (Backward Learning). Este procedimiento se basa en examinar las direcciones de origen de las tramas que recibe y relacionarlas con los correspondientes puertos de entrada empleados, guardando esta información para la actualización de las tablas. A partir de una situación inicial con la tabla vacía efectúa un aprendizaje automático del encaminamiento necesario.

El método de aprendizaje hacia atrás, tiene el inconveniente de adolecer de un retardo inicial de aprendizaje, durante el cual el puente efectúa inundaciones por desconocimiento de información. En circunstancia de interconexiones mediante dos o más puentes se podrán producir retransmisiones repetidas redundantes. Asimismo en esta circunstancia, al existir más de un camino entre un conjunto de LAN, se podrá producir secuencias en bucles (Fig. 20).

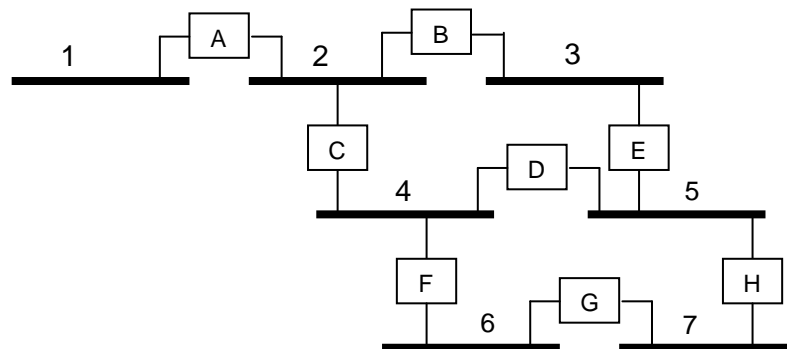


Fig. 20 - Formación de bucles entre LAN

Para evitar este proceso, se determina una topología virtual automática sin bucles, es decir sin la intervención administrador de la red. Esta topología sin bucles se conoce con el nombre de Spanning Tree (Fig. 21).

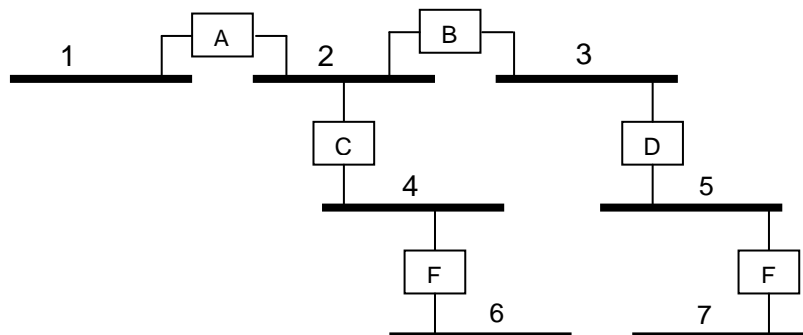


Fig. 21 - Ejemplo de Spanning Tree

La determinación del Spanning Tree se efectúa mediante el intercambio de mensajes de configuración entre puentes, según el protocolo STP (Spanning Tree Protocol) del IEEE 802.1d. En una primera fase se determina que puente actuará como raíz del mismo y en una segunda fase se calcula el camino más corto desde cualquier puente al nodo raíz. Todo puente que no esté incluido en cualquiera de estos caminos quedará excluido.

4. 2. Puentes Souce-Routing

Las estaciones de las LAN IEEE 802.5, se interconectan mediante puentes Souce Routing. La estación origen transmite las tramas, insertando en cada una de ellas la secuencia de puentes y redes LAN que deban atravesar. Para ello, la estación con anticipación debe averiguar cual es esa secuencia, para lo cual se normalizó un mecanismo de difusión de tramas de descubrimiento. La estación origen difunde una trama de descubrimiento y los puentes inundan con ella, al tiempo que registran el paso de la trama.

Cuando la primera copia de la trama de descubrimiento llega a destino, este la devuelve a la estación de origen, empleando la secuencia inversa de los puentes y LAN, la que quedó registrada en esta trama de descubrimiento. Una vez que llega esta trama a la estación de origen, dispone de la información de encaminamiento que debe insertar en la trama de datos a enviar a destino.

Se refiere a un mecanismo análogo al de aprendizaje hacia atrás realizado en los Puentes Transparentes. Para la operación adecuada del mecanismo de descubrimiento, es imprescindible que el administrador de red asigne correctamente cada puente y red LAN, con un identificador único.

4. 3. Utilización de puentes

Una serie de usos específicos de los puentes, lo han hecho una opción muy recurrida.

- Al interconectar LAN con medios físicos y controles de acceso independientes, se obtienen aumentos efectivos de las distancias geográficas cubiertas por las redes.
- Utilizando un puente, se pueden segmentar redes que empleen varios servidores, logrando mayor eficiencia en grupos de estaciones con sus servidores de uso habitual, incrementando el tráfico total.
- Los puentes podrán interconectar redes distantes, utilizando redes WAN. Los puentes hacen el tratamiento de las WAN como si fuese una red LAN. Esta posibilidad ha sido normada en la publicación IEEE 802.1g

4. 4. Bridge vs. Routers

En la alternativa de aplicación en la interconexión de redes, de bridge o routers deberemos analizar sus virtudes y sus desventajas.

1. La interconexión de redes mediante puentes, se realiza a nivel MAC, según la especificación 802.1d, mientras que mediante enrutadores IP lo realiza a nivel de red. Se desprende que los puentes tendrán una aplicación limitada a redes IEEE 802, mientras que los routers IP pueden ser empleados para interconectar cualquier tipo de red.
2. El uso de los puentes IEEE 802.1d transparentes, con un algoritmo basado en tablas de encaminamiento y aprendizaje hacia atrás, es sencillo. En cambio, los routers IP emplean algoritmo de encaminamiento más complejos, basados en los protocolos

OSPF. Se obtiene con ellos prestaciones superiores que con los puentes, en términos de rapidez de convergencia, adaptación a caídas y optimación de los caminos.

3. La operación de los puentes es más eficiente que la de los routers, por la razón que su encaminamiento se basa en la información de cabecera de la trama. No es necesario entonces extraer y analizar el datagrama IP encapsulado en la trama para decidir el reenvío.
4. Los puentes IEEE 802.1d difunden las tramas por todos sus puertos. En caso de difusiones no apropiadas (Broadcast Storm), provocadas por mal funcionamiento de alguna estación o por mala intención de algún hacker, los puentes afectarán a todos los segmentos interconectados. En cambio los routers dado que basa sus decisiones de reenvío en la información de cabecera IP, no interpreta la cabecera de la trama, con lo que desactiva la tormenta.
5. Por la misma razón del análisis de la cabecera de la trama, los puentes podrán conmutar independientemente del protocolo de capa superior (NETBEUI, IPX) encapsulado en la trama MAC. No ocurriendo lo mismo con los routers que solo conmutan aquellas tramas que encapsulan el protocolo IP. Se dice entonces que los puentes proporcionan soporte multiprotocolo.

5. Modos de transferencia

Un modo de transferencia cubre los aspectos relacionados con la transmisión, el multiplexado y la conmutación digital. Precedente a la definición del B-ISDN y con ello al ATM, existía el modo de transferencia síncrono y el modo de transferencia de paquetes. Analizamos primeros éstos últimos, para encara el estudio específico del modelo ATM.

5. 1. Modo de transferencia síncrono

El Modo de transferencia síncrono STM (Synchronous Transfer Mode) incluye la técnica de multiplexación por división de tiempo TDM (Time Division Multiplexing) y la técnica de conmutación de circuitos. La TDM es la técnica utilizada por los sistemas de modulación por impulso codificado PCM (Pulse Code Modulation), profusamente utilizados en las redes de enlace entre oficinas telefónicas, antes de la introducción de la fibra óptica, en los años de 1970. Para ilustrar el funcionamiento TDM, supongamos 4 fuentes de transmisión que se multiplexan sobre un enlace digital (Fig. 22).

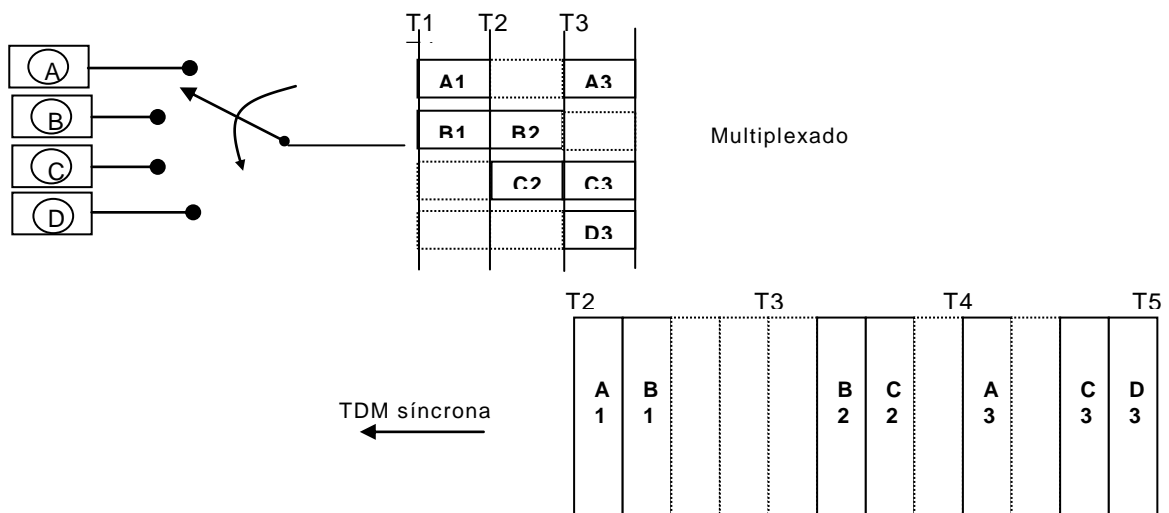


Fig. 22 - Multiplexado síncrono

En la multiplexado mediante TDM, se hace un muestreo a intervalos de tiempo (slot) de cada emisor determinado en secuencia síncrona. La sucesión de slots de un emisor determinado representa su canal de transmisión, mientras que en el enlace, la sucesión de slot consecutivos constituye una trama. Se observa que la sucesión de slot es siempre síncrona. Lo que indica, que haya o no transmisión de un canal determinado, mantiene siempre la posición de los slot en el tiempo secuencial.

Del esquema se puede observar que:

1. La posición que ocupan los datos del múltiplexor en el tiempo identifica la procedencia del canal determinado.
2. Aquellos slots de la trama que no es utilizado por el emisor que lo tiene asignado, no puede ser aprovechado por otro emisor. Luego se infiere un bajo rendimiento en la capacidad de transmisión.
3. El retardo que sufren los datos al atravesar el múltiplexor es constante.
4. Una vez determinado el ranurado en slots, queda definida la capacidad del múltiplexor y de cada uno de los emisores. Se dice que la asignación de capacidad es estática.
5. El dimensionamiento de la capacidad y memoria necesaria es igual a nC , siendo n la cantidad de canales emisores y C , en bit/s, la capacidad de un canal emisor.

La técnica de conmutación de circuitos tiene similar proceso de funcionamiento que la multiplexación síncrona. En ella, se realiza una primera etapa denominada de conmutación espacial, desde el múltiplex a al múltiplex c, y una segunda etapa de multiplexación temporal del Canal 3 al Canal 6.

Estos procesos se realizan mediante una matriz de puntos, un intercambiador de intervalos de tiempo y una memoria de control. Sobre los datos que se conmutan no se realiza ningún control de errores (Fig. 23).

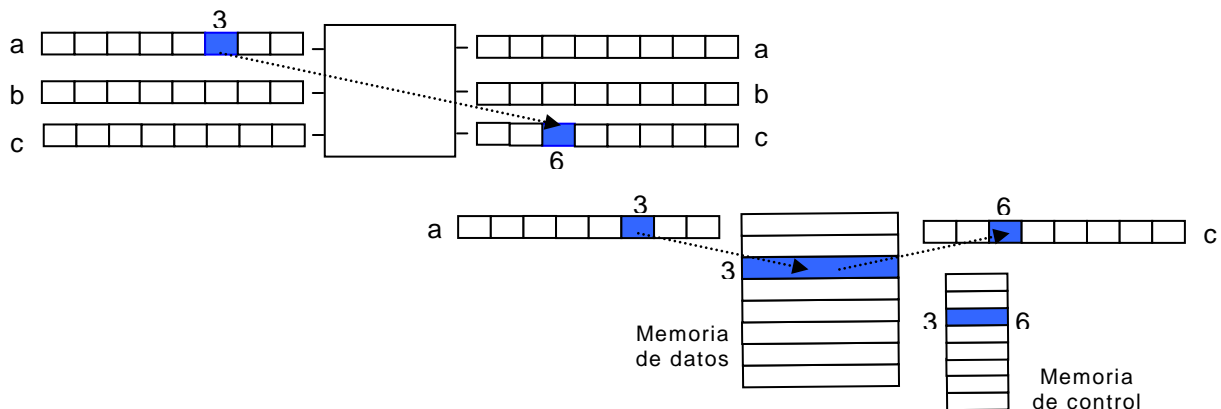


Fig. 23 - Conmutador de circuitos

5. 2. Modo de transferencia de paquetes

El Modo de transferencia de paquetes PTM (Paquet Transfer Mode), era el empleado en las redes de datos, tales como ARPANET, Iberpaq o ARPAQ. El modo de paquetes incluye la técnica de multiplexado por división de tiempo asíncrono y la técnica de conmutación de paquete (Fig. 24).

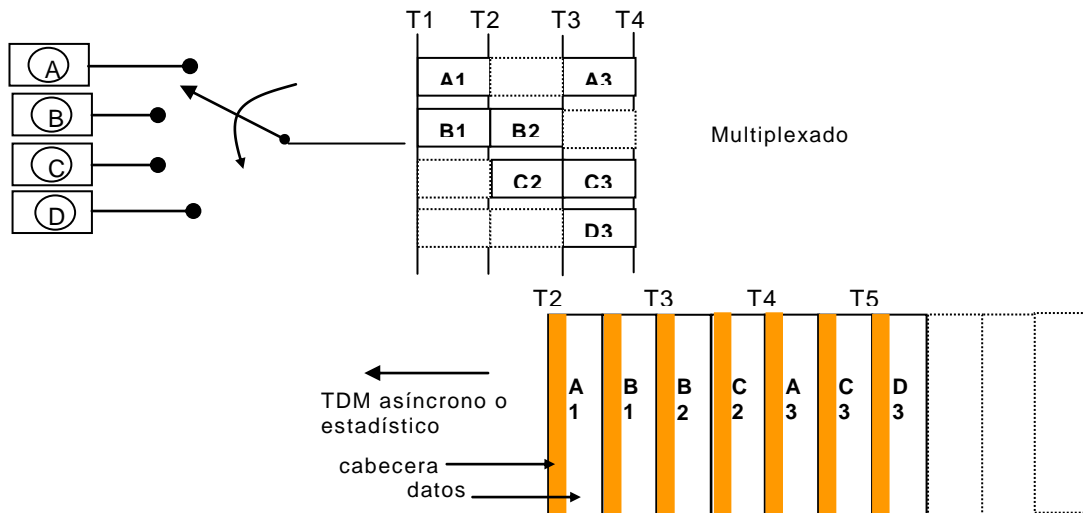


Fig. 24 - Multiplexado asíncrono

La técnica de multiplexado por división de tiempo asíncrono, también es denominada multiplexado en modo estadístico. A diferencia del modo TDM síncrono no hay preasignación de slots por los emisores, a medida que los datos llegan al multiplexor son transmitidos por el enlace multiplexado. Dado que no hay preasignación de intervalos de tiempo, debe haber una identificación de canales por slot en forma explícita. Para ello, a los datos se le agrega una cabecera. Al conjunto datos y cabecera se le denomina paquete.

La conmutación de paquete dispone de ciertas características propias:

1. Dado que no hay preasignación de los slots es posible el mejor aprovechamiento de la capacidad del multiplex.
2. Es necesario identificar explícitamente la procedencia de datos para posibilitar el demultiplexado.
3. La fracción de capacidad del multiplex asignada a cada canal emisor depende de la tasa relativa de datos. Esta capacidad es asignada en forma dinámica en función de las necesidades de cada canal emisor.
4. El dimensionamiento de la capacidad operante necesaria y de la memoria para el multiplexor es un compromiso entre ambos recursos.
5. El retardo experimentado por los datos al atravesar un multiplexor TDM asíncrono es variable, dependiendo de los intervalos asignados en el enlace.

En el modo asíncrono los datos pueden llegar en paquetes de distinto tamaño y en forma asíncrona. Respecto a la conmutación de paquetes su operación consiste en trasladar los paquetes desde el multiplexor de entrada al multiplexor de salida. A medida que llega cada paquete al conmutador, le es asignada una cabecera con el fin de identificar su procedencia y destino. A partir de esta información, se consulta la tabla de encaminamiento del nodo, que deberá indicar el multiplex de salida.

Con el objeto de prever las ocasiones en la que la capacidad del multiplex no sea suficiente para transmitir sin demora los paquetes conmutados, se han dispuestos memorias buffers en cada puerto de salida. En la conmutación de paquetes, se realiza control de errores, de mayor utilización antes de la introducción de la fibra óptica en las redes.

5. 3. Modos Síncronos vs. de Paquetes

En la tabla se especifica la comparación entre los modos síncronos y de paquetes:

COMPARACIÓN DE MODOS SÍNCRONOS Y DE PAQUETES:

	Modo síncrono	Modo paquetes
Retardo de transferencia	constante	variable
Asignación de capacidad	estática	dinámica
Ganancia de multiplexado	ninguna	alta
Implementación	hardware	software

El significado de cada ítem se refiere a:

Retardo de transferencia, es la suma de los retardos experimentado por los datos al ser conmutados por los nodos, más los retardos de propagación y de transmisión, a través de los enlaces.

Asignación de capacidad, de los enlaces a cada uno de los flujos que atraviesa la red.

Ganancia de multiplexado, aprovechamiento de la capacidad entre flujos.

Implementación, en tipo hardware o software.

Del análisis de las características, se puede extraer conclusiones para ambos modos:

Modo síncrono, idóneo como soporte de servicios de tiempo real por garantizar un retardo de transferencia constante, e insuficiente para satisfacer diversidad de requisitos de ancho de banda previsto a los servicios B-ISDN por su asignación de capacidad estática.

Modo de paquetes, inhábil como soporte al servicio de tiempo real por la variabilidad que introduce en el retardo de transferencia, y competente en la gestión de anchos de banda presentado por los servicios B-ISDN por poseer asignación dinámica de capacidad.

5. 4. Modo de transferencia ATM

El Modo de transferencia asintótico ATM (Asynchronous Transmission Mode) ha sido creado por el CCITT, en 1988, como soporte de B-ISDN. Sin embargo, su tecnología se difundió a partir de la experiencia obtenida en la operación de redes de conmutación de circuitos y de redes de conmutación de paquetes, en las redes trocales.

En la acepción ATM, mientras que el término modo de transferencia, como adelantamos, cubre los aspectos relacionados con la transmisión, el multiplexado y la conmutación digital, el término asincrónico se refiere a que no existe sincronismo alguno de los mensajes, entre el emisor de envío y receptor de destino,

La prestación de la red conmutada telefónica, sirvió en los años de su creación, a la transmisión de datos y de video, más los de telefonía. Cada uno de estos servicios muestra una calidad y característica de servicio diferenciada en los requisitos a cumplimentar.

CARACTERÍSTICAS DE SERVICIOS DE RDSI

	Telefonía	Datos	CATV	Videoconf.
Orientado a conexión	(X)	(X)		(X)
Sin conexión		(X)	(X)	
Sensible al retardo	(X)			(X)
Sensible a la variación de retardo				
Tasa de bit constante	(X)		(X)	(X)
Ancho de banda	bajo	medio	alto	medio

En esa época, N-ISDN satisfacía las necesidades de acceso hasta los 2 Mb/s, no así los requerimientos de ancho de banda superiores, solicitados para la red de acceso y la red troncal de transporte. En la necesidad de precisar un ISDN de banda ancha (B-ISDN), también se exigió la definición de un modo de transferencia adecuado.

Dado que el modo síncrono ni el modo de paquetes se mostrara apropiado para soportar de una forma íntegra los servicio de las B-ISDN, se planteó crear un nuevo modo de transferencia. Consecuentemente el modo de transferencia ATM, surge como fusión entre los modos STM y PTM, demandando conservar del primero el sustentar los servicios de tiempo real y del segundo la capacidad de tasa de bit variable, al mismo tiempo evitar los inconvenientes de ambos.

En 1990 el CCITT publicó las recomendaciones de la Serie I, para la B-ISDN, normalizando los aspectos fundamentales del modelo ATM, que indicaban:

- Emplea TDM estadístico y conmutación de paquetes, con celdas de 53 By y modo de operación en circuito virtual.
- Minimiza el procesado de los paquetes, por lo cual no se realiza control de errores en los nodos ATM.
- Opera en conmutación de paquetes rápida, mediante hardware.

Al ser la celda de tamaño fijo y pequeño, se tiene la ventaja de mayor velocidad de conmutación, que no provoca retardos en cada momento y que las variaciones de retardo sean más predecible. Con retardos de 200 μ s no sirve para la transmisión de voz.

5. 5. Conmutación de paquetes en el modelo ATM

En ATM, la técnica de conmutación de paquetes puede implementarse según dos modos de operación, en función de la información de estado relativa al flujo que atraviesa la red, registrada en sus nodos de conmutación. Estos modos de operación son el Modo Datagrama o el Modo Circuito Virtual.

5. 5. 1. ATM en Modo de Datagrama

En el Modo Datagrama, cada paquete contiene en su cabecera, información de direccionamiento completa de identificación global.

En la Conmutación en Modo Datagrama, la búsqueda en la tabla de encaminamiento, se realiza a partir de la dirección de destino radicada en la cabecera del paquete a conmutar. La información que genera la tabla en ese momento, es exclusivamente la del puerto de salida por el cual se transmitirá el paquete a conmutar. La dirección de la cabecera del paquete no se modifica en ningún momento, por lo que es utilizable por todos los nodos de conmutación (Fig. 25).

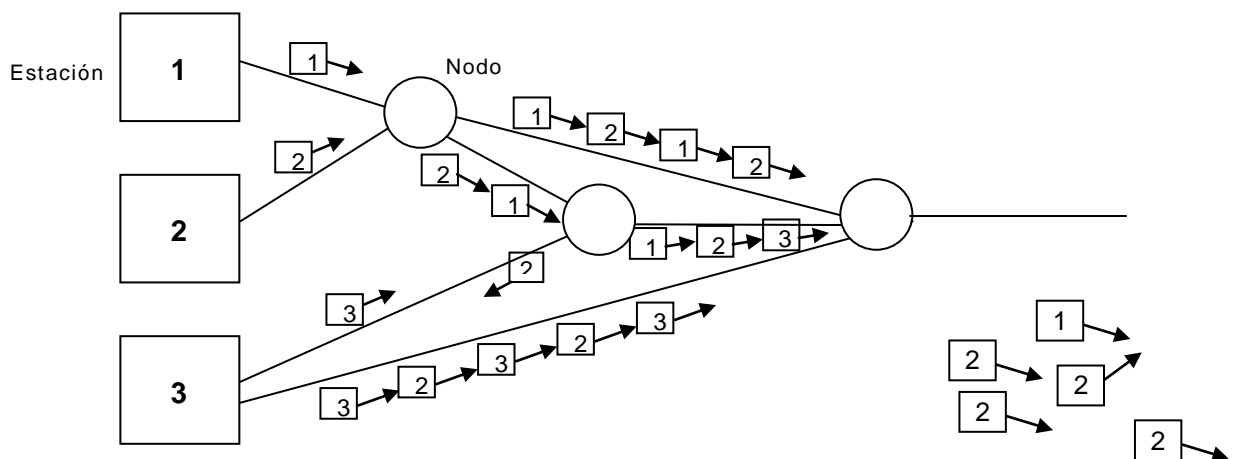


Fig. 25 - Encaminamiento en modo datagrama

Se observa que, por ejemplo los paquetes originados en la Estación 1, pueden ser conmutados hacia diferentes enlaces en cada nodo de conmutación, **cuando tales enlaces sean en ese momento**, los más apropiados para alcanzar el destino en la red.

5. 5. 2. ATM en Modo de Circuito Virtual

En cambio en el Modo de Circuito Virtual cada paquetes contiene en la cabecera información de direccionamiento, con significado local, denominado Identificador de Circuito Virtual VCI (Virtual Circuit Identifier).

En la Conmutación en Modo Circuito Virtual, la búsqueda en la tabla de encaminamiento se realiza a partir del identificador de puerto por el cual entró paquetes y del VCI de la cabecera del paquete. La información que genera la tabla de encaminamiento consiste en el puerto de salida por el que transmitirá el paquete a conmutar. Para ello, el identificador VCI se sustituye por el que indica la tabla de encaminamiento, es decir el direccionamiento de significado local. El contenido de la tabla de encaminamiento no se modifica durante todo el tiempo en que fluyen los paquetes al destino determinado, así pues todos los paquetes correspondientes a un mismo flujo que denominamos circuito virtual son conmutados idénticamente (Fig. 26).

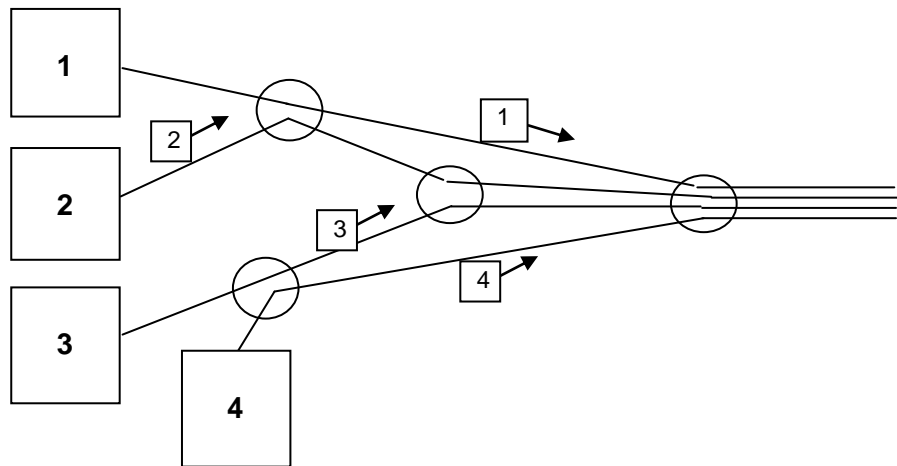


Fig. 26 - Conmutación en modo circuito virtual

El procedimiento previo para el establecimiento de un circuito virtual requiere que:

- La estación de origen informe a la red, nodo de acceso, la petición de establecer un circuito virtual. Para ello, es necesario que un paquete de petición atraviese la red hasta el destino y vuelva al origen, antes de emitir los paquetes de datos.
- Se identifique en forma completa y global el destino del circuito virtual a establecer.
- Los nodos cuando reciben esta petición, consultarán la tabla de encaminamiento para realizar la conmutación de los paquetes pertenecientes al circuito virtual en establecimiento.

5. 5. 3. ATM en Modo de Datagrama vs. ATM en Modo de Circuito Virtual

Vistos los dos modos de operación de los nodos de conmutación en paquetes de ATM, Modo de Datagrama y Modo de Circuito Virtual, podremos evaluarlos comparativamente.

- En el Modo de Circuito Virtual, es necesario establecer primero el circuito virtual por lo que se introduce un retardo inicial en la transferencia de datos, lo que representa mayor ineficiencia.

- En el Modo Circuito Virtual, la información de direccionamiento contenida en la cabecera es más reducida que en el datagrama, por lo que será de transmisión más eficiente.
- En el modo circuito virtual, la conmutación de los paquetes es más rápida, dado el tamaño reducido de los identificadores.
- **En el modo datagrama, si un nodo o enlace falla, los datagrama son encaminados automáticamente por caminos alternativos.**
- En el modo circuito virtual, en cambio, si un nodo o enlace falla es necesario liberar los circuitos virtuales afectados y establecerlos nuevamente por un camino alternativo. Lo que significa pérdida de tiempo en reconstituir los circuitos y la información.

6. La celda ATM

Los sistemas ATM emplean conmutación de paquetes, pero aquí estos paquetes son denominados celdas, ya que tiene un tamaño fijo reducido de 53 By. Tal adopción se ha realizado en virtud de lograr nodos con un mayor rendimiento en el proceso de conmutación. De esta forma se facilita el proveer servicios en tiempo real.

El formato normado de la celda ATM, la compone de una cabecera de 5 By y un campo de datos acotado a 48 By (Fig. 27).

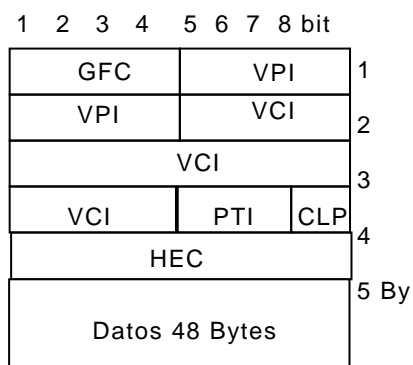


Fig. 27 – Formato de la celda ATM

Siendo:

GFC (Generic Flow Control) 4 bit, Control genérico de flujo.

VPI (Virtual Path Identifier) 8 bit, Indicador de trayecto virtual.

VCI (Virtual Channel Identifier) 16 bit, Identificador de canal virtual.

PTI (Payload Type Identifier) 3 bit, Identificador de tipo de carga útil.

CLP (Cell Loss Priority) 1 bit, Prioridad de pérdida de celda.

HEC (Header Error Control) 8 bit, Corrector de un error de cabecera.

Se destacan los campos siguientes:

Mediante VCI y VPI se identifican los canales y los trayectos virtuales. En conjunto identifican a un circuito virtual. Se puede optar por la conmutación VCI ó VPI.

Mediante PTI se diferencia las celdas que encapsulan información de capa superior o de capa ATM. Se indica el tipo de carga, dedicando para ello 3 bit. Con 1 bit se señala que se trata de datos o señalización. Si se trata de datos, con 1 bit se indica si hay congestión (similar al FEC de Frame Relay) y mediante el otro bit se indica principio, continuación o fin del mensaje (según AAL5). Si se trata de señalización, los 2 bits, posibilitan 4 combinaciones que indican distintas configuraciones de la celda.

Mediante CLP se marca para cada circuito virtual si la celda es descartable. En el caso de ser la celda marcada como descartable podrá ser admitida pero en su ruta si un nodo detecta congestión que perjudique a otro canal es descartada, impidiendo que entre al nodo. El valor del bit=0 corresponde a celdas prioritarias, que indica con preferencia no se descarten.

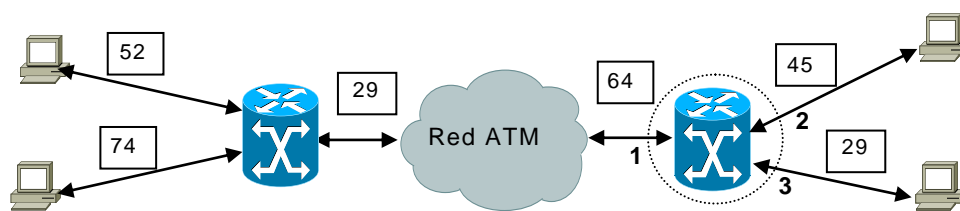
En el nodo de acceso existe un controlado que cuenta bits en tiempo dado. Si según el pacto de clase de tráfico y velocidad comprometida establecida determina un exceso de tráfico enviado, descarta el exceso. Por ejemplo, si una conexión física es de 128 Kb/s y se acuerda un circuito virtual de 64 Kb/s, de valor medio comprometido CIR, podrá enviar a 128 Kb/s, pero solo en tiempos parciales. Si el valor de tráfico emitido es en exceso a la misma capacidad física, es descartado por entero.

Si se detecta pérdida de información por exceso de tráfico se da aviso de la misma y se baja la velocidad del tráfico emitido. Los protocolos como TCP tienen procedimientos que reglan evitar los distintos congestionamientos de red. Los mismos fijan porcentajes.

Mediante HEC se efectúa el control de errores. Si el Header está corrompido se prefiere que la celda se descarte, antes que alcance un destino equivocado provocando males mayores. El HEC chequea los 4 primeros Bytes, luego permite corregir errores de hasta 1 bit. Si el error es mayor a 1 bit, solo detecta los mismos sin corregirlos. En la recepción detecta las celdas vacías y las descarta. El formato de una celda vacía es 01101010.

6. 1. Conmutación ATM

Los nodos de conmutación en redes ATM, efectúan conmutación de paquetes que operan en modo circuito virtual. En la figura se emplean identificadores VPI /VCI no normalizados. Se muestra la tabla de encaminamiento del conmutador ATM de la derecha. Se observa que la 1ª y la 2ª entrada por un lado, y la 3ª y la 4ª por otro, son simétricas. Ello se debe a que en ATM los circuitos virtuales son siempre bidireccionales (Fig. 28).



Entrada		Salida	
Port	VPI/VCI	Port	VPI/VCI
1	29	2	45
2	45	1	29
1	64	3	29
3	29	1	64

Fig.28 - Conmutación de celdas ATM

6. 2. Estructura de los conmutadores ATM

Los elementos funcionales de un conmutador ATM son:

- Una matriz de conmutación. Conmuta desde un puerto de entrada a uno de salida, modificando el identificador VPI /VCI. Conmutación espacial.
- Las colas de espera, necesarias a un multiplexado estadístico. Son colas con disciplina de servicio FIFO (First In First Out), o sea "primero que entra, primero que sale".

Existen básicamente dos alternativas de colas:

- Colas a la Entrada (Input Queuing).
- Colas a la Salida (Output Queuing).

En la alternativa de Colas a la Salida, a medida que las celdas llegan al conmutador, a través de los puertos de entrada, son conmutados por la matriz hacia los puertos de salida indicados, formando colas a la espera de ser transmitidas por el enlace de salida. En este tipo de colas, la conmutación debe ser lo suficiente rápida para no crear colas a la entrada. Fuese el caso de n puertos de entrada, la matriz debe ser lo tan rápida como conmutar n celdas en el tiempo de transmisión de una celda, a fin de no perder ninguna celda. Podemos inferir que en el caso de un conmutador con colas a la salida, la velocidad de conmutación ha de ser igual a n veces la capacidad de un enlace de entrada.

En la alternativa de Colas a la Entrada, a medida que las celdas llegan al conmutador, a través de los puertos de entrada, quedan almacenadas a la espera que la matriz las conmute. Por esta razón la matriz ya no debe conmutar a la máxima velocidad impuesta por los enlaces de entrada.

Los conmutadores con colas a la entrada sin embargo plantean un inconveniente. Supongamos que llegan a los puertos 1 y 2 de entrada, celdas con destino al puerto 3 de salida. Como en la salida no hay sistema de colas, solo se podrá conmutar la celda de la entrada 1, mientras que la celda de la entrada 2 debe esperar en su cola de entrada mientras tanto. Surge otro inconveniente, supongamos que en esta misma cola de la entrada 2, también hay celdas a la espera para otras salidas distintas a la 3, tampoco podrá ser conmutada dado que la matriz solo considera las celdas situadas en la cabeza de la cola de cada puerto. Se produce por tanto un bloqueo denominado heard of line blocking.

En resumen, mientras que los conmutadores con colas a la entrada no necesitan conmutar a la velocidad igual al agregado de los enlaces de entrada, se presenta el bloqueo en la cabeza de línea.

6. 3. Medios físicos en redes ATM

La norma del modelo ATM no ha adoptado medio físico de enlace en especial. Sin embargo el ATM Forum acometió la normalización del transporte de las celdas utilizando las interfaces empleados hasta el momento. Por ejemplo T1 (DS1) de 1.544 Mb/s, E1 de 2.048 Mb/s, T3 (DS3) de 44.736 Mb/s y para los enlaces de fibra óptica los canales ópticos en sistema SDH serán en STM-1 (OC-3) de 155.520 Mb/s y superiores.

La normalización de la Capa Física del Modelo ATM, divide a este nivel en dos subcapas. La superior se denomina de Convergencia de la transmisión TC (Transmission Convergence) y la inferior Dependiente del medio físico PMD (Physical Dependent) (Fig. 29).

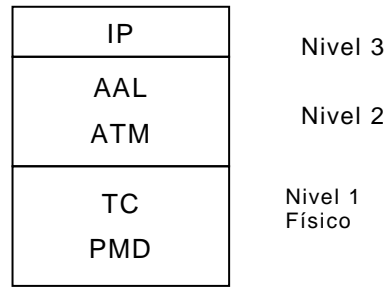


Fig. 29 - Modelo ATM

La subcapa TC es la encargada de transformar el flujo asíncrono de celdas que le entrega la capa ATM, en un flujo continuo de bit que entrega a la subcapa inferior PMD. La subsiguiente subcapa PMD se encarga de transmitir ese flujo de bit, a través del medio físico.

6. 5. SONET /SDH

El sistema de Jerarquía digital sincrónica SDH (Synchronous Digital Hierarchy), es un conjunto de normas de la ITU-T, aplicable a una interfaz de transmisión a altas velocidades. El sistema SDH es destinado con preferencia a redes ópticas, para datos, video y voz digitalizada.

El ATM Forum, ha normalizado el transporte de las celdas ATM sobre SONET (Synchronous Optical Network), sistema equivalente a SDH empleado en (USA):

Para la subcapa física superior TC, establece las siguientes funciones:

- *Control de errores de cabecera.* La ITU-T dispuso esta función a pesar del campo HEC de la celda ATM. En el destino pasan solo los datos que tienen las celdas llenas y los HEC correctos y válidos.
- *Generación de paridad.*
- *Desacoplamiento de la tasa de celdas.* Para que la subcapa inferior PMD genere un flujo continuo de bit, mantiene constante la emisión de celdas insertando celdas vacías (Unassigned Cells), indicando los VPI /VCI = 0 /0.
- *Generación de la trama de bit de transmisión sobre un container virtual SDH.*

La subcapa PMD inferior, se encarga de todo lo verdaderamente concerniente al nivel de la capa física. Estos son todos procedimientos automáticos, por lo que son realizados por la capa física.

El ATM Forum especifica que para el transporte de celdas ATM se emplee la trama de transmisión STS-3. La trama SONET STS-3 (Synchronous Transport Signal-3) u OC-3 (Optical Signal-3). Mientras la ITU-T a normado para ello una trama similar en SDH, la STM-1 (Synchronous Transfer Module-1).

Ambas STS-3 y STM-1, cuentan con velocidad digital de 155.520 Mb/s. Se emplean velocidades superiores que llegan hasta 39.813 120 Gb/s, tanto en trama STS-256 (USA) o STM-256 (ITU-T).

La trama STM-1 tiene un formato de 9 filas por 270 columnas de By, lo que resulta en una capacidad bruta de 155.52 bit, con una velocidad de 125 μ s (Fig. 30).

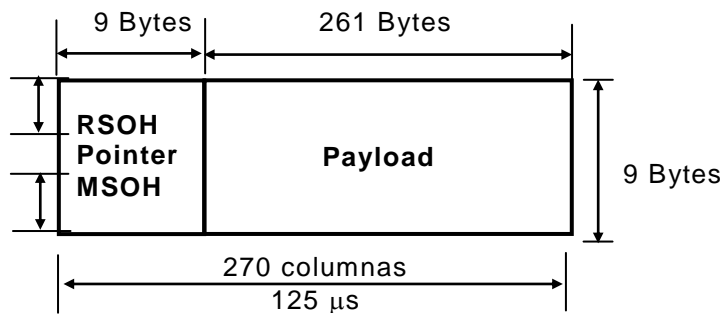


Fig. 30 – Trama STM-1 de SDH (ITU-T).

Esta trama comprende:

- RSOH (Regenerator Section Overhead), Cabecera Sección Regenerador
- Pointer, Puntero de multiplexado
- MSOH (Multiplex Section Overhead), Cabecera Sección Múltiplex
- Payload, Carga útil

Las celdas ATM se transportan en la carga útil de datos de esta trama STM-1.

En subcapa TC el ATM Forum prescribe un código TT que antecede al primero de los bit de cada celda ATM, por el cual se delimita la misma.

El ATM Forum ha especificado la velocidad STS-3 a emplearla en fibra óptica según la subcapa TC. Para la utilización de cables UTP Cat.5 con impedancia de 100 Ω, ó STP de 150 Ω especificó los aspectos de la subcapa PMD. En el caso de Cat. 5 UTP se emplea el conector RJ-45 (ISO/IEC 8877) y para STP el conector EIA/TIA 568A. Con estos tipos de cables y empleando cuatro conectores, se obtiene la mismo velocidad de 155 Mb/s, pero cubriendo solamente distancias, de 100 m (90 m más 10 m de latiguillos).

6. 6. Adaptación del servicio ATM

La transferencia de celdas ATM se realiza entre terminales, los que se hallan conectados entre sí mediante enlaces físicos con intervención de conmutadores ATM (Fig. 31).

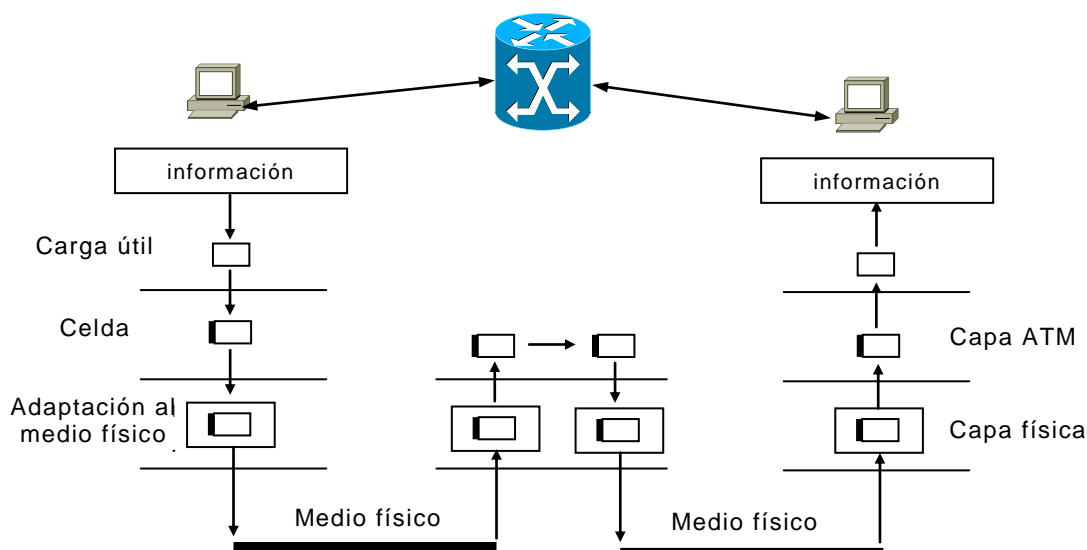


Fig. 31 - Servicio ATM

La información en formato de datos es encapsulada y desencapsulada en los extremos de la red o sea en los terminales, mientras que las celdas son encapsuladas y desencapsuladas en los extremos de los enlaces, esto es en conmutadores y terminales.

El servicio ATM así presentado adolece de ineficiencias:

- No dispone de un cabal control de errores en la cabecera.
- El tamaño de datos es de 48 By, no apropiado para las aplicaciones específicas.
- Los circuitos virtuales preestablecidos ofrecen conexiones semipermanentes.
- No incorpora mecanismos de control de retardo o variación de retardo.

La falta de un completo control de errores crea problemas para la transmisión de datos, mientras que la falta de control de las variaciones de retardo es indeseable a la transmisión de tiempo real, TV y voz.

Para suplir estas ineficiencias la ITU-T normalizó una nueva capa denominada Capa de adaptación ATM, conocida como AAL (ATM Adaptation Layer). Está ubicada inmediato superior a la capa ATM y está presente solo en sus terminales para no sobrecargar a los conmutadores ATM (Fig. 29).

En las capas superiores se chequean errores pero no celda por celda, sino por unidad de datos. Si llega una celda corrompida, que indica falla en su carga útil o en su cabecera, se descarta. Existe para ello la capa AAL que deja pasar a las capas superiores solo las celdas que estima correctas. En la transmisión de un datagrama IP, la capa AAL antes de ser entregada a la Capa ATM, la divide en celdas, le agrega un pequeño código redundante cíclico CRC, que detecta errores y un indicador de longitud, que revela que han llegado todas las celdas. Además agrega un relleno para que la división de los campos de carga útil resulte igual a un múltiplo de 48 By, $n \times 48$.

A la hora de definir la funcionalidad de la nueva capa, se la ha dividido en varias subcapas, cada una con su desempeño específico (Fig 32).

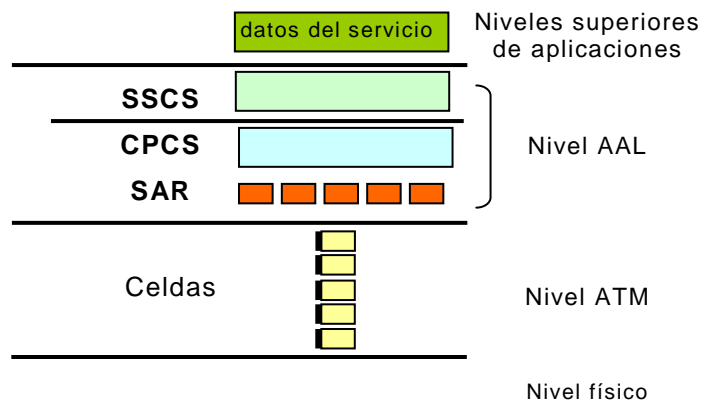


Fig. 32 - Modelo ATM

- La función de la Subcapa de convergencia específica de servicio SSCS (Service Specific Convergence Sublayer), esta dedicada a cada aplicación específica.
- Son funciones de la Subcapa de convergencia de partes comunes CPCS (Comun Part Convergence Sublayer), el control de errores y la recuperación del sincronismo para algunos tipos de aplicaciones.

- La función de la subcapa de Segmentación y reensamblado SAR (Segmentation And Reassembly), se encarga de la adaptación del tamaño de la unidad de datos del servicio al tamaño del campo de datos de la celda ATM.

La ITU-T optó por normalizar únicamente la combinación de las subcapas SAR y CPCS, denominándola Tipos AAL y definiendo los distintos protocolos AAL:

- Protocolo AAL tipo 1, destinado al transporte de la información generada a tasa de bit constante, con ciertos requisitos temporales de calidad de servicio (CoS), como ser voz multiplexada.
- Protocolo AAL tipo 2, destinado al transporte de la información generada a tasa de bit variable, con ciertos requisitos temporales de calidad de servicio, como ser transporte de voz de forma más eficiente al AAL1.
- Protocolo AAL tipo 3/4, destinado al transporte de datos, a tasa de bit variable, sin requisitos temporales de calidad de servicio y en la modalidad de servicio sin conexión.
- Protocolo AAL tipo 5, destinado al transporte de datos, a tasa de bit variable, sin requisitos temporales de calidad de servicio y en la modalidad de servicio orientado a la conexión.

6. 7. Protocolo AAL tipo 5

El protocolo AAL tipo 5, es el de uso más extendido. A diferencia del protocolo AAL 3/4 incorpora la funcionalidad mínima necesaria al transporte de datos a través de una red ATM, desplazando algunas funciones a las capas superiores, como ser a la capa de transporte.

La subcapa superior CPCS, acepta los campos de unidad de datos, de la Unidad de datos de protocolo PDU (Protocolo Data Unit), de hasta 65535 By y le añade diferentes campos de cola (Fig. 33).



Fig. 33 - Formato de la PDU del AAL5

- Pad, incrementa el relleno al campo de datos de la PDU, para obtener un tamaño múltiplo entero de 48 By.
- Lengh, indica la longitud de la PDU.
- CRC, permiten detectar errores sobre la PDU.

La subcapa SAR inferior, acepta los campos de unidad de datos, que le entrega la subcapa CPCS y efectúa el segmentado o reensamblado. Para ello sigue el proceso:

- Divide la unidad de datos CPCS en segmentos de 48 By, los que entrega a la Capa ATM para su transmisión.
- Controla el segmentado mediante el bit menos significativo del campo Identificador de tipo de carga útil PTI (Payload Type Identifier), de 3 bit, de la cabecera de la celda ATM.

El control verdadero de errores se computa en las capas superiores, ya en la aplicación de los datos.

7. Red ATM

Para obtener una red ATM con funcionalidad propia de red telefónica, de red pública de datos y que además sustente B-ISDN, se deberá satisfacer ciertos requisitos de señalización, direccionamiento y encaminamiento.

7. 1. Conexiones ATM

El servicio ATM se ofrece en forma de conexiones que se soportan sobre circuitos virtuales, sean estos canales o trayectos virtuales.

Los circuitos virtuales preestablecidos, se los distinguen con la denominación de Circuito virtual permanente PVC (Permanent Virtual Circuit). Se requiere la intervención del administrador de la red, para efectuar el establecimiento de un PVC. El mismo, es llevado a cabo por cada uno de los nodos que conmutarán el circuito virtual que soportará la conexión ATM.

Si en cambio, se constituye el establecimiento de la conexión ATM en forma dinámica, en cada momento que se requiera y sin la intervención del administrador de la red, se está en presencia de la disposición, Circuito virtual conmutado SVC (Switched Virtual Circuit).

Asimismo, las redes ATM permiten la conexión punto a punto y la conexión punto a multipunto. En las conexiones multipunto, que también reciben el nombre de conexión de árbol multidestino, el establecimiento está gobernado por el terminal origen que recibe el nombre de raíz.

Por cada terminal destino deseado, el terminal raíz envía un mensaje de petición de establecimiento o de adición, se trate respectivamente del primero o de los siguientes terminales destino. A estos terminales se les denomina terminal hoja. Un terminal hoja puede decidir su desprendimiento enviando el mensaje correspondiente. El terminal raíz puede a su vez decidir el desprendimiento de un terminal hoja o la liberación del árbol multidestino.

Es necesario especificar un mecanismo para transportar los mensajes de señalización. Se ha optado por reservar al identificador VPI /VCI de valor 5 para este propósito. De este modo cuando un conmutador ATM recibe celdas con este identificador, decide no conmutarlas sino interpretar la información que contenga el mensaje de petición. Para ello se normalizó el protocolo SAAL (Signaling AAL), que opera en las subcapas del protocolo AAL5.

7. 2. Señalización ATM

Se entiende por señalización, aquellos procedimientos que permiten el establecimiento automático de conexiones en red, que ofrecen servicios orientados a la conexión. Es el conjunto de procedimientos en la red, que conforma el establecimiento, el seguimiento y la liberación de conexiones conmutadas.

En una comunicación telefónica de servicio básico, existen los procedimientos de señalización para concretar la misma. En una red ATM se apela al protocolo de señalización, para gobernar el intercambio de las distintas señales de solicitud, contestación, establecimiento y liberación.

El terminal que desea establecer una conexión, envía una señal de petición de establecimiento al conmutador de acceso a la red, al cual se halla conectado directamente.

Este mensaje de petición debe especificar:

- La dirección del terminal destino.
- El perfil del tráfico de celdas a emplear.
- La calidad de servicio que se requiere para la conexión.

El conmutador de acceso que recibe este mensaje, debe tomar una de dos decisiones:

- Si dispone los recursos para garantizar la conexión y perfil de tráfico solicitado, debe contesta afirmativamente y encamina al conmutador siguiente.
- Si no dispone de estos recursos, devuelve un mensaje de rechazo de la petición efectuada.

Cada conmutador de red procede en forma similar que el conmutador de acceso. Cuando el terminal de destino recibe el mensaje de petición, debe contestar ativamente al de origen. El mensaje de confirmación atravesará en secuencia inversa los mismos conmutadores que procesaron la petición, los que establecerán entonces el circuito virtual.

La liberación de la conexión puede iniciarse tanto por el terminal origen como por el terminal destino.

7. 3. Señalización en redes privadas y en redes públicas

En general se dispone de dos tipos de redes diferenciadas, las redes corporativas y las redes públicas. Ambas con amplias características de escalabilidad.

Es evidente y deseable que los protocolos creados en cada ámbito, sean compatibles para su eficiente operatividad. Veamos la clasificación de dichos protocolos (Fig. 34).

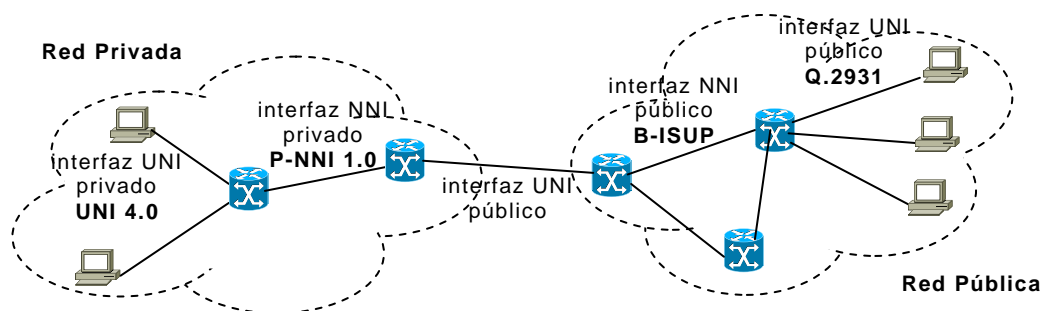


Fig. 34 - Protocolos de señalización en redes ATM

Los protocolo de señalización se diferencian, según el tipo de red y además según dos puntos específicos de la misma, los que se distinguen como:

- Interfaz usuario red UNI (User Network Interface), entre un terminal y la red (conmutador de acceso).
- Interfaz nodo nodo NNI (Netword Node Interface), entre conmutadores de la red.

Esta diferenciación se debe principalmente a la complejidad de la señalización NNI. Tal clasificación se aplica tanto en la red pública como para la red privada.

El ATM Forum normalizó protocolos de señalización de las redes corporativas:

- Para el UNI privado, el protocolo UNI 4.0.
- Para el NNI privado, el protocolo P-NNI 1.0 (Private NNI 1.0).

Mientras la ITU-T normalizó los protocolos de señalización de las redes públicas:

- Para UNI público, protocolo Q.2931 ó DSS2 (Digital Subscriber Signaling System N° 2).
- Para el NNI público, el protocolo B ISUP (Broadband ISDN User Part).

Estos protocolos públicos de señalización, son evolución a partir de los protocolos de señalización del sistema N-ISDN, respectivamente del DSS1 y del ISUP, como extensión del Sistema de Señalización N° 7 SS7 (Signaling System N° 7).

El ATM Forum en la especificación P-NNI 1.0, norma los aspectos de la señalización no-do red.

7. 4. Plano del Usuario, Plano de Control

La ITU-T ha normado un Modelo de referencia de protocolo PRM (Protocol Reference Model), para el B-ISDN, el que interesaba anteriormente al N-ISDN y que posteriormente ha servido al modelo ATM. En este modelo de referencia se especifica, el Plano del Usuario, el Plano de Control y el Plano de Gestión.

- En el Plano del Usuario, se incluyen todas aquellas capas responsables del transporte, generación y recepción de información de usuario.
- En el Plano de Control, se incluyen todas aquellas capas responsables del transporte, generación y recepción de información de red.
- En el Plano de Gestión, se efectúa la gestión de los distintos planos.

7. 5. Encaminamiento ATM

Se entiende por encaminamiento ATM al proceso que determina la secuencia de conmutadores ATM llevada a cabo, para constituir el circuito o los circuitos virtuales, soporte de la conexión. Esta secuencia se determina durante la conmutación de las celdas de petición y se plasma mediante la información contenida en la tabla de encaminamiento de los conmutadores ATM y la operación de los protocolos de encaminamiento efectuada por cada uno de esos nodos.

Las entidades de estos protocolos, mediante el intercambio de información, obtienen el conocimiento necesario para establecer el circuito virtual. El encaminamiento, por tanto es responsable de la determinación de la tabla de encaminamiento durante el establecimiento de la conexión.

El funcionamiento de los protocolos de encaminamiento en las redes ATM, es similar al de los protocolos de encaminamiento de Internet:

- Los protocolos de encaminamiento buscan determinar los caminos óptimos entre una estación de origen y una de destino.
- Las entidades intercambian información cuantitativa sobre los caminos, nodos y/o enlaces, y aplicando los algoritmos apropiados determinan los caminos óptimos.

Sin embargo, existen diferencias entre ambas redes. Mientras que en Internet la información de encaminamiento se emplea en la conmutación de cada uno de los datagrama que atraviesan un nodo, en la red ATM esta información se emplea únicamente en el establecimiento de la conexión. De este modo, en la red ATM cualquier novedad reportada con posterioridad, por los protocolos de encaminamiento, no es tenida en cuenta.

El ATM Forum norma el protocolo de encaminamiento en la especificación P-NNI 1.0, que como vimos también contiene los aspectos de señalización nodo red.

La especificación P-NNI 1.0, es del tipo Link-State, que significa que determina el camino óptimo a partir de la información topológica y métrica de toda la red. Además, para obtener escalabilidad, emplea un modelo jerárquico de la red, es decir que resume en recurrencia, la topología y la métrica de la red en forma de nodos lógicos.

7. 6. Direccionamiento ATM

Al emprender la tarea de interconectar redes se adopta un esquema de direccionamiento consistente en fijar direcciones homogéneas, univocas y globales, de forma que se puede identificar con certeza, un terminal entre todos los terminales de la red.

El ATM Forum incluye para el direccionamiento, en la especificación UNI 3.1, los formatos más empleados en las redes de datos: DCC (Data Country Code) Format, ICD (International Code Designator) Format y el E.164 Format. Todos estos formatos mantienen la sintaxis normalizada para las direcciones de red efectuada por la ISO en la Norma OSI 8348 y por el CCITT en la Recomendación X.213. Direcciones conocidas en las normas como NSAP (Network Service Access Point).

Las direcciones ATM se caracterizan por tener, independientemente del formato adoptado, un tamaño de 20 By. Además, estar divididas en dos partes, denominadas:

- De red, con 23 By, que identifica al conmutador de acceso.
- De terminal con 7 By, de los cuales 6 By es llamado ESI (End System Identifier), e identifican a un terminal de los varios conectados al mismo conmutador (asignada por el Comité IEEE 802), y con 1 By (el menos significativo) denominado SEL (Selector), que identifica un punto de conexión, dentro del terminal.

El ATM Forum ha normalizado un registro de direcciones ATM, de la parte de red. La misma es proporcionada por el conmutador de acceso, durante el proceso de iniciación del terminal. Este mecanismo de registro de direcciones se incluye en la especificación ILMI (Interin Local Management Interface).

8. Contrato de Tráfico ATM

Vimos que durante el establecimiento de una conexión ATM, el terminal debe especificar la dirección ATM de destino de la conexión y sus requisitos de calidad de servicio. Asimismo, se debe negociar entre el terminal y la red, un conjunto de características denominadas como Contrato de Tráfico. En el mismo intervienen el terminal y la red:

- El terminal declara cual es el perfil de tráfico previsto para el flujo de celdas cuyo establecimiento se solicita y especifica la calidad de servicio deseada para la conexión.
- La red, en caso de aceptar los términos del contrato, se compromete a garantizar la calidad de servicio solicitada, siempre que el flujo de celdas de la conexión se adecue al perfil de tráfico declarado por el terminal.

8. 1. Descriptor de Tráfico ATM

El Descriptor de Tráfico de una conexión ATM, consiste en los parámetros necesarios para especificar sin ambigüedades, a que celda de la conexión le es aplicable el Contrato de Tráfico. Asimismo, establece una definición de conformidad por lo cual debe contar con un mecanismo que permita discernir si una celda cumple los parámetros estipulados.

Los parámetros normalizados por la ITU-T y el ATM Forum, que pueden ser incluidos en el Descriptor de Tráfico de una conexión ATM, son:

- Tasa pico de celdas PCR (Peak Cell Rate). Con PCR, se especifica un tope máximo para la tasa a la que pueden enviarse las celdas.
- Tasa sostenida de celdas SCR (Sustainable Cell Rate). Con la SCR, se especifica un tope máximo para la tasa media, medida a una escala de tiempo mayor que la utiliza para PCR. Esta escala de medida es indirectamente determinada por el parámetro: Tamaño máximo de ráfaga MBS (Maximum Bust Size).

Con SCR y MBS, se determina el número máximo de celdas consecutivas emitibles a la tasa PCR. En realidad el parámetro negociado es la Tolerancia de ráfaga BT (Burst Tolerance).

Una visualización formal de los parámetros PCR, SCR y BT puede darse, empleando el algoritmo Token Bucket. Éste ha sido diseñado para caracterizar los flujos de entrada a redes de paquetes que muestren un perfil esporádico, llamadas a ráfagas (Fig. 35).

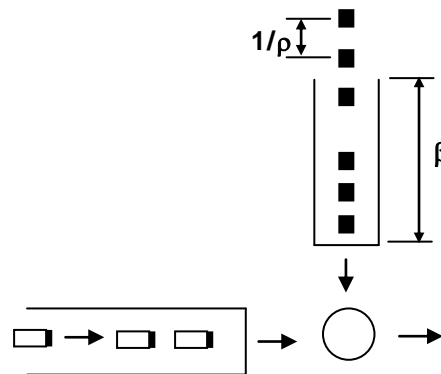


Fig. 35 - Esquema de un Token Bucket

Dos parámetros gobiernan al Token Bucket (balde de permisos), la tasa de llegada ρ de las muestras permisos (token), y la profundidad β del balde o cubo (bucket). A un token bucket llegan permisos a una cadencia constante igual a ρ hasta que la cantidad de permisos en el sistema alcanza el valor β . Si una celda llega y hay disponibles token, a la celda se le permite entrar a la red y en ese caso consumirá uno de los permisos. Si cuando llega no hay permisos en el sistema, esta celda no podrá entrar a la red.

Depende del diseño del Token Bucket, la decisión de sí se almacenan las celdas a la espera de la llegada de un permiso, o las celdas se descartan. La utilidad del algoritmo token bucket, reside en permitir acotar el tamaño máximo de cualquier ráfaga de celdas que lo atraviese.

Para la definición de la conformidad de los parámetros de descripción de tráfico PCR, SCR y BT, se emplea la combinación de dos token bucket en cascada, con los parámetros indicados en la Fig. 36.

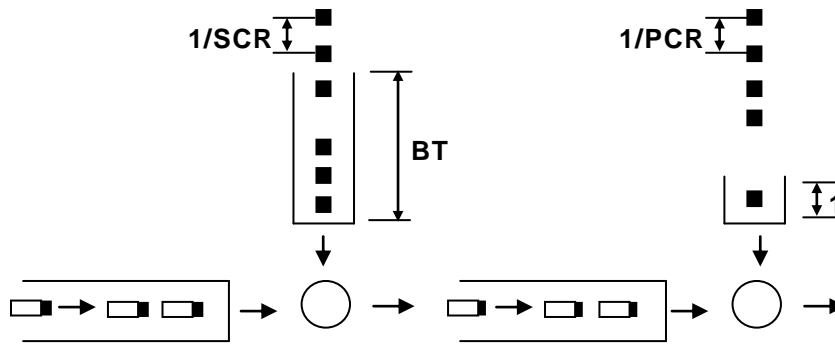


Fig. 36 - empleo del Token Bucket para la descripción de tráfico

8. 2. Calidad de Servicio ATM

La calidad de servicio QoS (Quality of Service) que proporciona una conexión ATM se mide en términos de la serie de parámetros que caracterizan las prestaciones. La ITU-T y el ATM Forum, han normalizado seis parámetros de QoS. De esos seis parámetros, tres no son susceptibles de ser negociados para la conexión ATM:

- Tasa de celdas erróneas CER (Cell Error Ratio), como la relación de celdas recibidas erróneas sobre el total de celdas transferidas.
- Tasa de bloques de celdas severamente dañados SECR (Severely Error Cell Block Ratio), definiendo un bloque como una secuencia de n celdas transmitidas consecutivamente y un bloque dañado severamente como un bloque con más de m celdas erróneas, perdidas o mal insertadas.
- Tasa de celdas mal insertadas CMR (Cell Misinsertion Rate), considerando una celda mal insertada, aquella que ha sido erróneamente conmutada debido a un error en su cabecera.

En cambio los otros tres parámetros siguientes, son susceptibles de ser negociados durante el establecimiento de una conexión ATM. Además, dentro de esta categoría de parámetros negociables, distinguimos al parámetro espacial y los parámetros temporales:

El parámetro negociable espacial de QoS es la Tasa de celdas perdidas CLR (Cell Loss Ratio), está definido como la relación entre las celdas perdidas durante la vida de una conexión sobre el total de celdas transferidas. Se exige a la red que no se supere el valor de CLR especificado.

Los parámetros negociables temporales de QoS son:

- Retardo máximo de transferencia CTD_{max} (Cell Transfer Delay, maximum).
- Variabilidad máxima de retardo $CDV_{pico\ a\ pico}$ (Cell Delay Variation, peak to peak), definida como la diferencia entre CTV_{max} y el retardo fijo.

9. Gestión de tráfico

Los mecanismos de gestión de tráfico, son los encargados de hacer valer los contratos de tráfico de una conexión ATM en curso. Es decir, son los mecanismos que garantizan la QoS, para aquellas conexiones que se respetan su perfil de tráfico.

Los mecanismos de gestión de tráfico más utilizados son el control de admisión, control de flujo, control de parámetros de usuario, gestión de memoria y planificación de celdas.

9. 1. Control de admisión

El Control de admisión en la conexión CAC (Connection Admisión Control), es el responsable de aceptar o rechazar una petición de establecimiento de conexión ATM. Su función opera a partir del contrato de tráfico, sujeta a las consideraciones de satisfacer la QoS que se solicita y de no afectar negativamente a la QoS de las conexiones ya establecidas.

El CAC es responsable indirecto de la reserva en la red para garantizar un retardo máximo CTD, que satisfaga la QoS comprometida. Para ello, debe limitar dinámicamente y en forma temporal, el número de conexión en cada enlace.

9. 2. Control de flujo

El Control de flujo en redes ATM, permite que ante la inminencia de una sobrecarga de red, los terminales responsables ajusten, de forma acorde y consecuente, sus tasas de emisión de celdas.

El control de flujo, normalizado por el ATM Forum, se consigue ajustando en origen y periódicamente el intervalo temporal de emisión de celdas de cada conexión. Para ello el terminal emisor deberá insertar celdas denominadas de gestión de recursos RM (Resource Management), en el flujo de celdas de datos. Las celdas RM serán devueltas por el destino de la conexión y serán empleadas por la red para informar sobre el ajuste deseado para cada conexión, en función del estado de la red en cada momento. Este tipo de control de flujo es denominado, control de flujo por realimentación de tasa.

La operación de control de flujo requiere, la coordinación eficaz entre el terminal origen, el terminal destino y los conmutadores. La normalización detallada funcional, garantiza la interoperatividad entre equipos de distintos fabricantes.

El control de flujo, actúa con escala temporal de actuación intermedia ya que toma decisiones que tardan en tener efecto varios retardos de ida y vuelta RTT (Round Trip Time). Un RTT es el tiempo que tarda una celda RM en llegar al destino de la conexión y volver al origen, momento en el que entrega la información de realimentación que contiene.

9. 3. Control de parámetros de usuario

El control de parámetros de usuario UPC (Usage Parameter Control), es el encargado de verificar que el perfil de tráfico declarado por el usuario se cumpla durante toda la conexión. Las funciones que ha de cumplir este mecanismo de control son:

- Comprobar la validez del campo VPI /VCI de cada celda.
- Monitorear el flujo de celdas de cada conexión en el punto de entrada a la red, para determinar si son conformes o no con el descriptor de tráfico de la conexión.
- Descartar o marcar las celdas no conformes.

Es decisión del diseño de la función de control de parámetros de usuario, descartar o no antes de su ingreso a la red, aquellas celdas de la conexión que no son conformes con el contrato de tráfico. Se permite no descartarlas, en cuyo caso se prescribe que tales celdas no conformes sean marcadas con el campo CLP=1. Esto las distingue del resto de las celdas de la conexión como las más indicadas para el descarte.

Estos mecanismos de control son elementos con escala temporal de actuación reducida, pues toman decisiones en cada instante del ingreso de una celda a la red.

9. 4. Gestión de memoria

Cuando una celda llega al conmutador ATM, debe ser almacenada temporalmente. Esta decisión es crítica si el espacio de almacenamiento es crítico. En ese caso, para decidir que celda es necesario descartar, se requiere disponer de un cierto criterio.

El algoritmo de gestión de memoria (buffer management) más sencillo y a la vez más empleado es el FCFU (First Come First Used). El mismo, consiste en descartar en caso de ser necesario aquella celda que llegó en último lugar, es decir la celda que se encuentra sin disponibilidad de memoria en el conmutador.

Otros algoritmos de gestión de memoria más complejos pero con mejores prestaciones, tienen en cuenta, que fracción de espacio de almacenamiento está ocupando cada conexión. Este tipo de algoritmo se conoce con el nombre de per-VC accounting.

Los algoritmos de gestión de memoria son efectivamente mecanismos de gestión de tráfico, en cuanto determinan la tasa de pérdida de celdas que experimenta cada conexión. Además, son elementos con escala temporal de actuación muy reducida, ya que se traducen instantáneamente en la QoS que percibe la conexión

9. 5. Planificación de celdas

El elemento de Planificación de Celdas (Cell Scheduling), también designado como disciplina de servicio, es el encargado de decidir el orden de transmisión de las celdas, a través de los puertos de salida de los conmutadores.

El algoritmo de planificación más sencillo y más extendido es el FCFS (First Come First Served), también conocido como FIFO (First In First Out), en el que se transmite la celda que antes llega al sistema. Existen otros algoritmos más complejos pero más eficaces en gestionar los anchos de banda. Podrán garantizar tiempos de tráfico máximos en el conmutador para cada conexión. Otros podrán permitir garantizar una variabilidad máxima de retardo.

La escala temporal de actuación de estos elementos de planificación, es del mismo orden que la de los mecanismos de gestión de tráfico. Al igual que ellos, no han sido susceptiblemente normalizados, sino que se dejan sujetos a su diferenciación y mejoramiento por parte de los fabricantes.

10. Categorías de servicio ATM

La ITU-T y el ATM Forum, han seleccionados de las múltiples combinaciones de parámetros de descripción de tráfico y de QoS, los mecanismos de gestión de tráfico más adecuados en cada caso. Esto, ha fin de lograr la eficacia y la eficiencia en la provisión del servicio ATM. Ello se concretó en la publicación por parte del ATM Forum del documento TM 4.0 (Traffic Management Specification Versión 4.0) y por parte de la ITU-T, la recomendación I.371.

Tanto uno como otra especificación, estructuran el servicio ATM mediante la enumeración de diversas clases de servicio, que en la nomenclatura del TM 4.0 reciben la denominación de Categorías de Servicio y en la del I.371 Capacidades de Transferencias. Ambas difieren en aspectos menores, por lo que analizaremos solo la norma TM 4.0.

El ATM Forum normalizó 5 Categorías de Servicio. Cada una podrá entenderse como una modalidad de contrato de tráfico y una manera diferenciada de ofrecer QoS a una conexión ATM.

Cada Categoría de Servicio será apropiada para cada tipo de aplicación y deberá:

- Garantizar determinados parámetros de QoS.
- Suponer la adhesión a unos parámetros del Descriptor de Tráfico.

10. 1. Categoría CBR (Constant Bit Rate)

En esta categoría se supone que la aplicación, emite datos de forma que el flujo de celdas resulte a tasa constante. Por esta razón se emplea PCR como único parámetro de Descriptor de Tráfico. Se garantiza además de CTD_{max} y CDV_{pico} a pico, la tasa de pérdida CLR. En CBR, los recursos de la red se reservan en exclusividad para las conexiones ATM. Es de aplicación a la telefonía, radiodifusión y TV.

10. 2. Categoría rt-VBR (real time Variable Bit Rate)

En esta categoría, se supone que las celdas no se emiten a tasa constante. Por esta razón es necesario emplear los tres parámetros de Descriptor de Tráfico normalizados PCR, SCR y BT para caracterizar el perfil de tráfico. Al igual que en CBR, se garantiza CTD_{max} , CDV_{pico} a pico y la tasa de pérdida CLR. En rt-VBR, los recursos de la red no se asignan con exclusividad, con el objeto de obtener mayor ganancia de multiplexado.

10. 3. Categoría nrt-VBR (non real time Variable Bit Rate)

Se hacen las mismas suposiciones que para rt-VBR con respecto al perfil de tráfico, pero con la diferencia se garantiza únicamente la tasa de pérdidas CLR. Son por lo tanto aplicables los mecanismos de Control de Admisión CAC, de parámetros del usuario UPC y de gestión de memoria utilizado. Es de aplicación a los servicios factibles a la pérdida de celdas, pero tolerantes a los parámetros temporales de QoS.

10. 4. Categoría UBR (Unspecified Bit Rate)

A diferencia de las categorías anteriores, UBR no se suscribe a ningún Descriptor de Tráfico. No se garantiza ningún parámetro de QoS. Por lo tanto, las conexión UBR emplean recursos no reservados para CBR y no utilizados por VBR. Los mecanismos de gestión de memoria permiten una provisión mínimamente eficiente de esta categoría de servicio. Las aplicaciones destinadas a esta categoría son las llamadas de Best Effort, que proporcionan IP en la Internet, como ser transferencia de archivos, correo electrónico, etc.

10. 5. Categoría ABR (Available Bit Rate)

La categoría ABR se plantea como alternativa mejorada del nrt-VBR, con la diferencia que supone la adecuación a un perfil de tráfico definido en el momento de establecer la conexión.

El terminal debe ser capaz de ajustar la tasa de emisión de celdas al ancho de banda disponible en cada momento y que la red notifica como de velocidad permitida ACR (Allowed Cell Rate).

Si el terminal satisface este compromiso la red garantiza un valor de tasa de perdidas CLR relativamente bajo. El mecanismo de gestión de tráfico es el control de flujo. Las aplicaciones son las mismas que en UBR y en nrt-VBR.

11. Modelo de interconexión vía ATM, Classical IP

El IETF(Internet Engineering Task Force) aplicó a las redes ATM la fórmula de interconexión IP, la tecnología éxito en cuanto técnica se fue aplicando: Ethernet, 802.3, 802.5, FDDI, X.25, Frame Relay, Apple Talk, etc. Según este formato, la red ATM es considerada como una subred más de una internet IP. Se trata pues de una solución de Interconexión exclusiva para el transporte de datagrama IP.

La red de interconexión aludida como indefinida en la Fig. 18, ahora la definimos como red de interconexión del tipo ATM (Fig. 37).

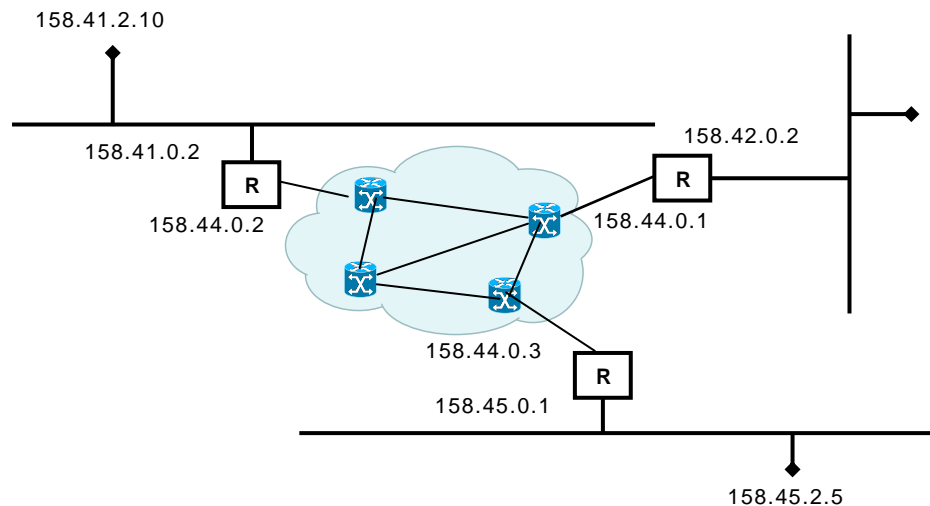


Fig. 37 - Classical IP de interconexión ATM

Podemos observar que los routers expuestos, pertenecientes a la subred 158.44.0.0, se conectan a conmutadores ATM de una red ATM.

Dado que el modelo clásico de interconexión IP aplicado a ATM, implica que todas las estaciones y routers conectados a una red ATM, pertenecen a la misma subred, el número de estaciones que puede llegar a estar conectados a una misma red ATM podrían llegar a ser inmanejable. Por tal razón, el IETF consideró conveniente no obligar a mantener la correspondencia entre red y subred, normalizando que las estaciones y routers conectados a una misma red ATM, pudiesen agruparse en más de una subred "lógica". A esta subred se la denominó LIS (Logical IP Subnet).

Del ejemplo de la Fig. 37, se tomó la subred 158.44.0.0 y se han dividido las 8 estaciones y 3 routers conectados a la red ATM, en dos subredes LIS (Fig. 38).

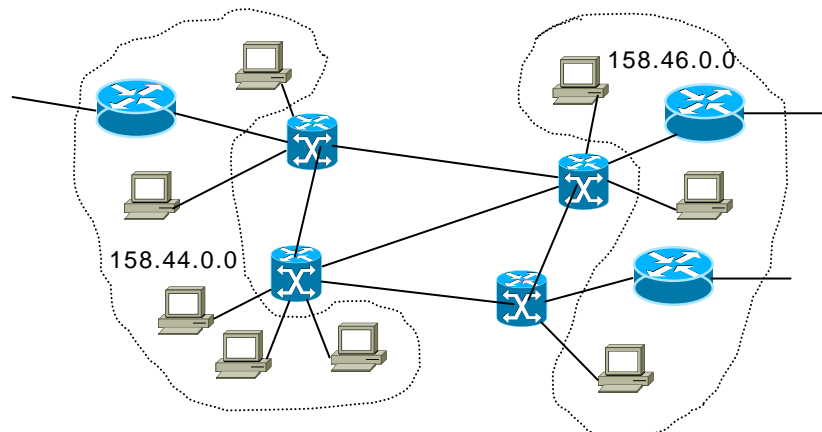


Fig. 38 - Subredes LIS en una red ATM

Al tratarse ahora de dos subredes LIS distintas, no pueden tener el mismo netid en sus direcciones IP, luego, una de estas subredes toma la asignación diferenciada 158.46.0.0. En general, al estar conectado cada miembro de una LIS a una red ATM tiene asignada una dirección ATM.

En la implantación de las redes ATM en redes de datos, estas redes ATM se consideran como redes que ofrecen un servicio de datos. Se plantea entonces como interconectar una red ATM de datos, con otra red de datos de otra tecnología.

A partir del planteamiento de interconexión basado en redes lógicas IP, la solución de la interconexión de una red ATM mediante routers IP pasa por adaptar la solución planteada en el caso estudiado de interconexión de redes mediante routers IP. Recordemos que son cuatro las soluciones que aporta IP para obtener la interconexión de redes de distintas tecnologías: 1. encapsulado de datagrama; 2. resolución de direcciones; 3. encaminamiento y 4. fragmentación /reensamblado. De estos cuatro mecanismos, los dos últimos son independientes de la tecnología de la subred que se interconectan, por lo que no necesitan ninguna consideración específica para su aplicación en las redes ATM.

11. 1. Encapsulado de datagramas

El IETF ha normalizado en la RFC 1483, que el datagrama IP se encapsule en la Unidad de Datos de Protocolo de AAL5 y que se emplee el mismo encapsulado que para tramas IEEE 802, es decir el encapsulado LLC /SNAP. En la RFC 1626 se ha normalizado el valor MTU de 9180 By, campo de datos de la PDU de la tecnología SMDS (Switched Multimegabit Data Service), predecesor de ATM. Este tamaño es mucho menor al máximo indicado para PDU en AAL, que es de 65535 By, pero mucho mayor al tamaño máximo en trama PPP, 802.3 ó Ethernet, de 1500 By y de una trama FDDI de 4500 By.

11. 2. Resolución de direcciones

El mecanismo de resolución de direcciones, define como averiguar la dirección ATM (física) correspondiente a una dirección IP (lógica) conocida, de la estación de destino del datagrama IP, o del router encargado de encaminarlo hacia el destino.

La RFC 1577 especifica el mecanismo de resolución de direcciones para este caso, distinguido como Classical IP. Consiste en una adaptación del protocolo de resolución ARP, y es denominado ATMARP. Vimos que el ARP, para el caso de las redes Ethernet, basa su operación en la capacidad de difusión de la subred sobre la que se aplica. En Classical IP, se ha concentrado en un servidor llamado ATM ARP, el conocimiento distribuido para una red con capacidad de difusión, acerca de los pares de direcciones IP y física. Cada LIS dispone de su servidor ATMARP (Fig. 39).

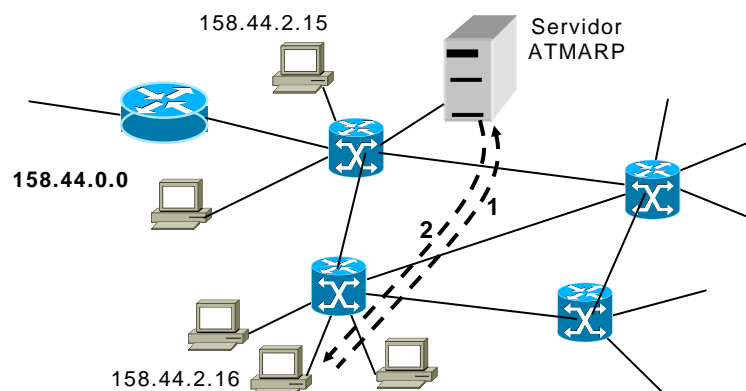


Fig. 39 - Resolución de direcciones ATM-ARP

La subred lógica 158.44.0.0, de la Fig. 39, dispone del servidor ATMARP. Supongamos que la estación 158.44.2.16, desea enviar un datagrama a la estación 158.44.2.15, perteneciente a la misma subred LIS. Necesitará para ello, obtener la dirección ATM de la estación 158.44.2.15. La resolución de direcciones tiene lugar realizando una petición de resolución al servidor ATMARP, indicada con 1 en la figura. El servidor ATMARP tiene conocimiento de los pares de direcciones IP y ATM, de todos los miembros de la subred LIS a la que se encuentra asociado. Por ello responderá a esta petición, proporcionando la dirección ATM requerida, indicada con 2 en la figura.

Los mensajes ATMARP, que intercambia la estación peticionaria y el servidor ATMARP, se encapsulan en un PDU de AAL5, mediante el encapsulado LLC /SNAP. Una vez encapsulados los mensajes, se transmiten a través de la conexión ATM punto a punto, establecida por la estación peticionaria con el servidor ATMARP. Esta conexión sólo puede establecerse si la estación conoce la dirección ATM de su servidor ATMARP, para lo cual este parámetro previamente, ha de ser configurado en forma manual, en cada uno de los miembros de la LIS.

11. 3. Comunicación dentro de una subred LIS

En el procedimiento expuesto, se ha supuesto que el servidor ATMARP conocía la correspondencia entre las direcciones IP y física, de todos los miembros de la LIS a la que está asociada. Ello se hace posible, merced al protocolo InATMARP, especificado en la RFC 1577. Este protocolo establece que cuando un miembro de una LIS arranca, establece una conexión ATM con un servidor ATMARP y registrar sus direcciones IP y ATM mediante mensajes específicos InATM-ARP.

En el servidor, las entradas caducan a los 20 minutos (en los clientes a los 15 minutos), por lo que necesitan actualizarse. Esta actualización tiene lugar, bien implícitamente cuando una estación realiza una petición ATMARP, o bien explícitamente mediante petición InATMARP expresa del servidor.

Una vez resuelto el problema de la resolución de direcciones por Classical IP, ya es posible la comunicación IP dentro de una subred LIS.

En el ejemplo de la Fig. 39, para que la estación 158.44.2.16 pueda enviar un datagrama IP a la estación 158.44.2.15, se desarrolla el siguiente proceso:

- La estación debe obtener la dirección ATM de 158.44.2.15, mediante el protocolo ATMARP.
- Debe establecer una conexión ATM con el destino, utilizando los procedimientos de señalización UNI 4.0.
- Debe encapsular el datagrama IP en una PDU de AAL5 según se estudió precedentemente.
- Debe, finalmente enviar la PDU a través de la conexión ATM establecida.

Se aprecia que este procedimiento explicado, es similar al que se describió para el envío de datagrama IP sobre redes Ethernet, con la salvedad que en las redes Ethernet el servicio ofrecido es sin conexión, por lo que no es necesario establecer una conexión con el destino antes de transmisión el datagrama encapsulado.

11. 4. Comunicación fuera de una subred LIS

La comunicación entre dos subredes LIS es análoga al proceso visto, de comunicación entre dos subredes físicas distintas.

Tomemos como ejemplo las subredes 158.44.0.0 y 148.46.0.0 de la Fig. 38. Se advierte que la comunicación entre ambas requiere de un router común que las intercomunique (Fig. 40).

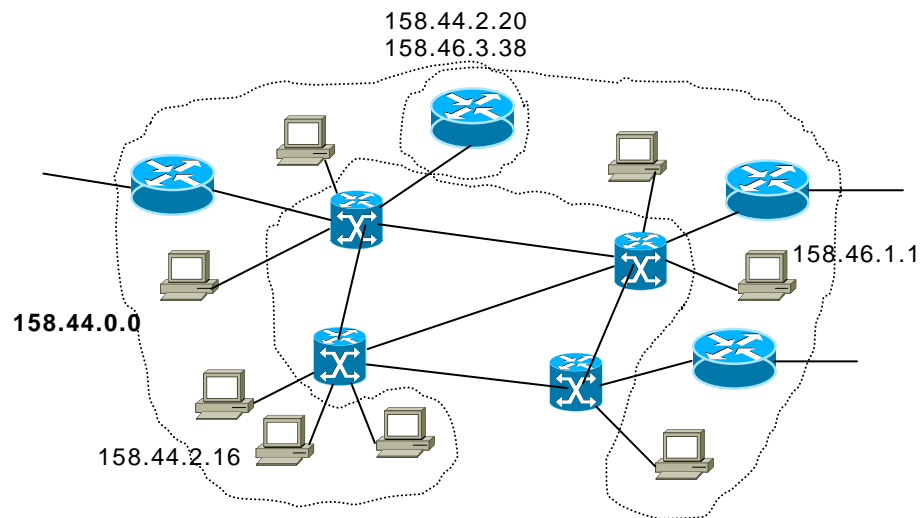


Fig. 40 - Comunicación entre LIS distinta

Este router tiene asignadas dos direcciones 158.44.2.20 y 158.46.3.38, dado que pertenece a dos subredes distintas. Además sólo tiene un puerto ATM que está conectado a uno de los conmutadores, por lo que tiene una sola dirección ATM. Este conmutador ATM, no pertenece a ninguna de las dos subredes LIS.

Si la estación 158.44.2.16 desea enviar un datagrama IP a la estación 158.46.1.1, deberá seguir el procedimiento habitual que se emplea en una internet. Es decir, primero deberá ser enviado al router 158.44.2.20. Para realizar este envío la estación 158.44.2.16 deberá seguir lo indicado en el procedimiento visto anteriormente, el cual incluye resolver la dirección ATM de 158.44.2.16 mediante ATMARP con el servidor de la LIS 158.44.0.0. A continuación el router deberá proceder a determinar que el datagrama sea enviado directamente a la estación 158.46.1.1. Para ello, deberá resolver la dirección ATM de 158.46.1.1 mediante ATMARP con el servidor de la LIS 158.46.0.0.

11. 5. Evaluación del proceso Classical IP

La interconexión de red ATM mediante Classical IP ofrece como principal ventaja, la simplicidad de emplear interconexión mediante routers con mínimas modificaciones a introducir en una internet IP.

Classical IP tiene aplicación directa en la introducción de redes ATM como redes WAN troncales, las que permitan la interconexión de routers distantes desplazando a otras tecnologías como X.25, ya obsoleta o líneas dedicadas ineficientes. Asimismo, Classical IP se muestra útil para agrupar las estaciones de una red ATM en distintos grupos de trabajo, que se correspondería con subredes LIS. De modo que la comunicación entre miembros de grupos distintos necesariamente pasaría por un router, lo que permite incorporar reglas de filtrado sofisticadas.

Sin embargo esta simplicidad es factor causante de muchas de sus limitaciones:

- La comunicación entre estaciones ATM pertenecientes a subredes LIS diferentes, involucra siempre la participación de un router, lo que provoca ineficiencia, al ser necesario establecer dos conexiones ATM, entre la estación origen y el router y entre éste y la estación destino. Además al ser la conmutación IP es mucho más lenta que la conmutación ATM, lo que produce latencias perjudiciales a la transmisión.
- La solución Classical IP, sólo es válida para transportar datagrama IP, lo que puede constituir un serio inconveniente.
- La posibilidad de garantizar QoS en una red ATM, queda anulada al emplear Clásical IP, pues el servicio que ofrece IP sobre la red ATM continúa siendo sin conexión, tipo Best Effort.
- La adscripción de cada estación o router a una subred LIS, a de ser configurada manualmente por el administrador. No se ha previsto ningún procedimiento de configuración automático.

12. Modelo de interconexión LAN Emulation, LANE

Se puede afirmar, que si con Classical IP, se asimila la red ATM a una subred IP, con el protocolo LAN Emulación (LANE), se asimila la red ATM a una red LAN IEEE 802.3/5.

En el modelo LANE de interconexión, es fundamental el concepto de LAN emulada ELAN (Emulated LAN). Una red ELAN, es una red ATM que incorpora un protocolo denominado LANE, que es responsable de ofrecer a las estaciones conectadas a la misma, un servicio de las mismas características que una red LAN IEEE 802.3/5 (Fig. 41).

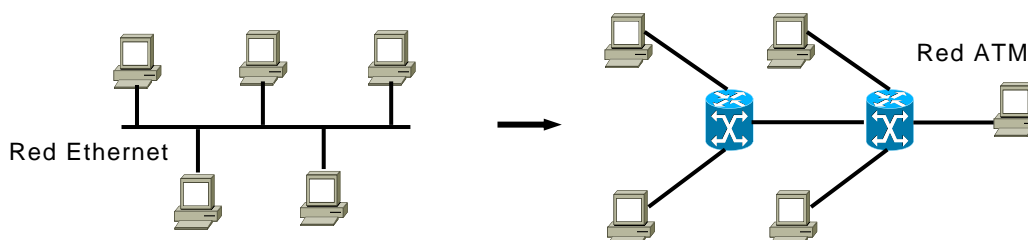


Fig. 41 - Red LAN Emulada, LANE

- Sea una LAN, por ejemplo tipo Ethernet /802.3, donde las estaciones se encuentran, conectadas en bus compartido, tienen asignadas direcciones físicas MAC únicas, de 48 bit (6 By) y emplea el acceso compartido CSMA/CD.
- Como red ELAN este mismo conjunto de estaciones estará ahora, conectada a una red de conmutadores ATM, que tiene asignada direcciones ATM de 20 By y emplea los mecanismos de transporte y de señalización específicos de ATM, para transmitir datos.

Sin embargo, las estaciones de esta red ELAN, al igual que las estaciones de una LAN, tienen también asignadas direcciones únicas de 48 bit y además, a las aplicaciones residentes en las estaciones de la ELAN, se le ofrece un servicio de red de las mismas características que en la red LAN tradicional.

El servicio que a nivel MAC ofrece una LAN Ethernet /802.3, se caracteriza por:

1. Ser un servicio sin conexión.

2. Permitir la entrega unidestino y multidestino de datos.
3. Identificar los destino mediante direcciones IEEE 802 de 48 bit.

Por otra parte, el servicio que a nivel AAL ofrece una red ATM con protocolo de adaptación AAL5 se caracteriza por:

1. Ser un servicio orientado a la conexión.
2. Permitir únicamente la entrega unidestino de datos.
3. Identificar los destinos mediante direcciones ATM de 20 By.

Por tanto el protocolo LANE, cuya función es emular el servicio MAC Ethernet /802.3, a partir del servicio AAL5 de una red ATM, deberá adaptar las características del segundo, para ofrecer un servicio de las características del primero, a los protocolos de capa superior.

12. 1. El protocolo LANE

El protocolo LANE debe cumplir tres tareas principales, donde deberá definir:

- Un formato de trama LANE que permita ofrecer un servicio IEEE 802.3 a los protocolos de capa superior del usuario, tales como IP ó IPX.
- Un procedimiento de encapsulado de la trama LANE sobre red ATM, para ser transportada entre dos estaciones de la misma ELAN.
- Un mecanismo de resolución de dirección MAC a ATM, que permita averiguar la dirección ATM propia de una estación ELAN identificada por su dirección MAC.

El protocolo LANE emplea tramas de datos y de control para su operación. En el formato de la trama LANE, los campos del encabezamiento están dispuestos en 4 filas, de 4 By de longitud (Fig. 42).

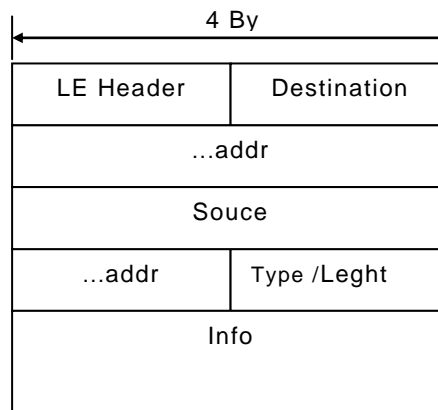


Fig. 43 - Formato de trama LANE

Se observa las siguientes características:

- La trama LANE, al igual que las tramas Ethernet /802.3, dispone de un primer campo de dirección de destino y un segundo campo de dirección de origen de 6 By cada uno.
- El campo Type/Lenght permite alternativamente emular el encapsulado Ethernet DIX siendo campo Type y el encapsulado IEEE 802.3 siendo campo Lenght.

- A diferencia de las tramas Ethernet /IEEE 802.3, la trama LANE no incluye un campo de detección de errores de la transmisión . La razón es que esta tarea la realiza la subcapa CPCS - AAL5, por lo que se ha considerado redundante su inclusión.
- El campo LE Header, propia de la trama LANE, desempeña funciones específicas del protocolo LANE, como la identificación del tipo de trama.

Para la transmisión de trama LANE, tanto de datos como de control, se utiliza el servicio AAL5 orientado a la conexión. Es decir, se establecen conexión ATM conmutadas y a través de ellas, se envían las tramas LANE. La identificación del protocolo LANE no se realiza mediante ningún mecanismo de encapsulado, sino mediante el identificador del punto de acceso al servicio.

Uno de los aspectos que el protocolo LANE debía adaptar para el servicio IEEE 802.3, a partir del servicio AAL, es la duplicidad de direcciones en una red ELAN. El envío de tramas a través del servicio IEEE 802.3 se realiza identificado el destino mediante direcciones IEEE 802, mientras que la transmisión efectiva de la trama se realiza a través de conexión ATM conmutadas, en las que el destino se identifica mediante direcciones ATM.

Surge un problema de correspondencia de direcciones MAC y ATM, que el ATM Forum ha resuelto mediante un mecanismo de resolución de direcciones propio. Un ejemplo de resolución de direcciones en una red ELAN se muestra en la Fig. 44.

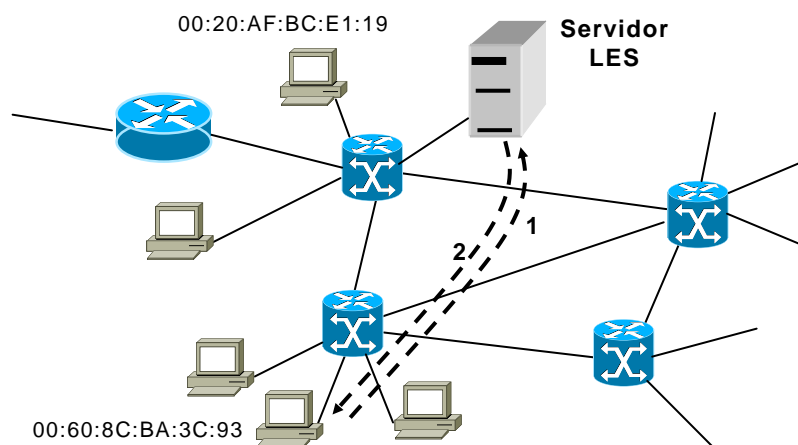


Fig. 44 - Resolución de direcciones LE-ARP

Supongamos que la estación 00:60:8C:BA:3C:93 desea enviar una trama LANE de datos a la estación 00:20:AF:BC:E1:19, para lo cual necesita conocer la dirección ATM de esta última. El ATM Forum ha normalizado un protocolo denominado LE-ARP, que traslada el esquema de funcionamiento del protocolo ATMARP de Classical IP, a la red ELAN.

En cada ELAN hay un elemento denominado servidor LES (LAN Emulation Server), que conoce la correspondencia de todas las direcciones MAC a ATM, de las estaciones de la ELAN. Cuando un miembro de la ELAN denominado genéricamente LEC (LAN Emulation Client), desea resolver una dirección MAC, le envía una petición de resolución en forma de trama LANE de control LE-ARP-REQUEST, paso indicado con 1. El servidor LES contesta a la petición con la dirección requerida, en forma de trama LANE de control de respuesta LE-ARP-RESPODE, paso indicado con 2.

Para que el servidor LES tenga conocimiento de los pares de direcciones MAC-ATM de las estaciones de la ELAN, se ha establecido un procedimiento de registro de direccio-

nes. Durante la iniciación de cada cliente LEC, éste debe establecer una conexión ATM con un servicio LES, a través de ella y mediante las tramas LANE de control adecuadas, registra sus direcciones MAC y ATM. Esta conexión es punto a punto y se denomina control direct VCC.

Además, esta conexión es la utilizada durante el procedimiento de resolución LE-ARP, para el envío de las tramas LE-ARP-REQUEST y LE-ARP-RESPONDE. Evidentemente la dirección ATM del servidor LES debe ser conocida por todos los clientes LEC de la ELAN. La configuración de este parámetro es automática. Finalmente, se establece que los pares MAC-ATM que obtienen los clientes LEC caduquen a los 5 minutos.

El procedimiento LE-ARP normalizado por el ATM Forum, es análogo al procedimiento ATMARP normalizado por el IETF.

TÉRMINOS EQUIVALENTES ENTRE LE-ARP Y ATM-ARL

	LE-ARP	ATM-ARL
Red lógica	LES	LIS
Servidores de direcciones	LES	Servidor ATM-ARP
Dirección a resolver	Dirección MAC	Dirección IP

12. 2. Comunicación unicast en LANE

Una vez especificados los procedimientos de encapsulado de trama LANE y de resolución de direcciones MAC, podemos especificar el procedimiento de comunicación unidestino entre estaciones de una ELAN. En el ejemplo de la Fig. 44, para que la estación 00:60.8C:BA:3C:93 pueda enviar una trama de datos a la estación 00:20:AF:BC:E1:19, son necesarios los siguientes pasos:

1. La estación debe obtener la dirección ATM de 00:20:AF:BC:E1:19, mediante el protocolo LE-ARP.
2. Deberá establecer una conexión ATM con el destino, utilizando los procedimientos de señalización UNI 4.0. Esta conexión ATM se denomina *Data Direct VCC*.
3. Debe en último lugar, enviar la trama LANE a través de la conexión *Data Direct VCC*.

12. 3. Comunicación multicast en LANE

Otra de las características que debe ser emulada en una red ELAN, es la capacidad de entregar datos a un grupo de destinatarios.

Las redes LAN permiten el envío de tramas con destino a un grupo determinado, envío multicast. Esto es posible al esquema de IEEE 802, que reserva el bit menos significativo del primer By para indicar si se trata de una dirección de grupo o individual (bit G/I).

Existe una dirección de grupo predefinida, que incluye a todas las estaciones conectadas a red, se trata de la dirección de difusión *broadcast*.

Hemos tocamos la temática de señalización ATM, como procedimiento que permite el establecimiento de conexiones, con dos posibilidades de conectividad ATM, las conexiones punto a punto bidireccionales y las conexiones punto a multipunto unidireccional.

Este último caso es útil para conseguir la difusión en una red ELAN, pero no es asimilable a la capacidad *multicast* de una red LAN. En la conexión punto a multipunto, únicamente se permite el flujo de datos desde la estación raíz hacia el resto. En cambio cuan-

do se habla de *multicast* se hace referencia a la posibilidad de enviar flujos de datos concurrentemente entre todas las estaciones incluidas en el grupo.

En LAN Emulation, se consigue emular la capacidad *multicast* mediante un elemento denominado servidor BUS (Broadcast and Unknown Server), que se encarga de recibir las tramas LANE multidestino para reenviarlas al grupo correspondiente de estaciones.

En cada **LANE** existe un servidor BUS, de igual forma que existía un servidor LES en cada ELAN (Fig. 45).

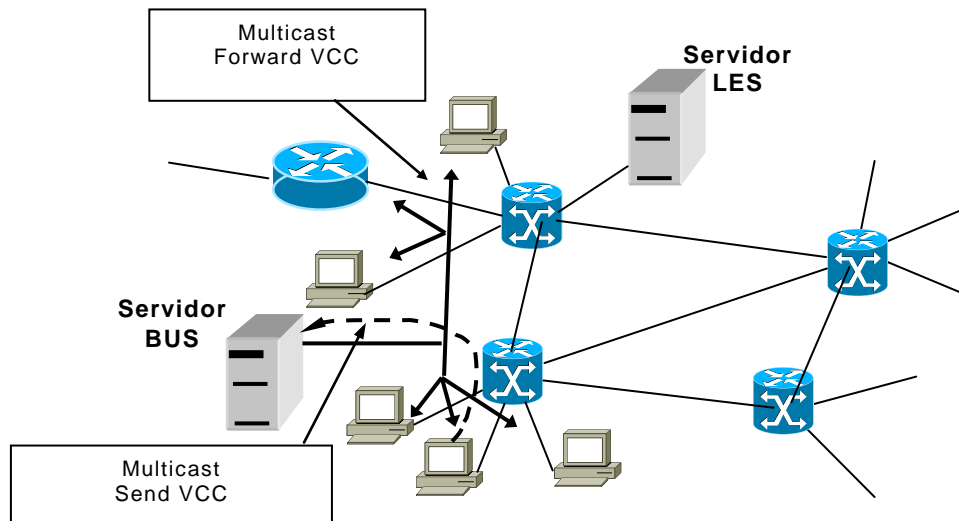


Fig. 45 - Comunicación multicast en LANE

Cuando un cliente LEC desea enviar una trama LANE a un grupo *multicast* de estaciones de su misma red ELAN, inserta la dirección de grupo correspondiente e la trama LANE y la envía al servidor BUS de su red ELAN. Por ello es necesario cumplir dos tareas previas :

- Averiguar la dirección ATM del servidor BUS. Para ello, el cliente LEC deberá resolver la dirección de grupo mediante el protocolo LE-ARP. Es decir, el servidor LES de la red ELAN es el encargado de proporcionar tal dirección, siguiendo el procedimiento de resolución de dirección para un *unicast*.
- Establecer una conexión ATM con el servidor BUS. Se trata de una conexión punto a punto bidireccional, cuyo establecimiento inicia el cliente LEC. Esta conexión se denomina *multicast send VCC*.

Una vez recibida, por parte del servidor BUS, la trama LANE *multicast*, éste la entregará a los miembros del grupo multicast indicando por la dirección de grupo. Para ello, el servidor mantiene una conexión punto a multipunto por cada grupo multicast. El servidor BUS es el nodo raíz de esta conexión ATM, mientras que cada miembro del grupo multicast se constituye en elemento hoja. El servidor BUS, por tanto, es el encargado de incorporar a los miembros del grupo. Esta conexión se denomina *multicast forward VCC*.

12. 4. Configuración ELAN

Advertimos que cada cliente LEC de una red ELAN debe conocer la dirección ATM del servidor LES de su red ELAN. De este modo, el cliente LEC sabe a quien dirigirse para resolver la dirección MAC de otro LEC, o bien para conocer la dirección ATM del servidor

BUS de la red ELAN. En caso de Classical IP, era asimismo necesario que los miembros de una subred LIS conociesen la dirección ATM del servidor ATM-ARP de la LIS.

La necesidad de configurar manualmente la dirección ATM del servidor LES, en cada una de las estaciones que implementen LANE en una red ATM es indeseable, y además se trata de un procedimiento propenso a errores. Por añadidura, la experiencia de una estación LANE a una determinada red ELAN, de entre las configuradas en una red ATM, es en principio, una característica dinámica de la estación, lo que añade complejidad a la administración de la red.

Por estas razones, el ATM Forum incluyó en la especificación LAN Emulation, un procedimiento de configuración automático. Para ello en cada red ATM que implemente LANE debe existir un servidor denominado LECS (LE Configuration Server), que será único independiente del número de redes ELAN configuradas en la red ATM.

La dirección ATM del servidor debe ser conocida por todos los clientes LEC de la red ATM. Con estas premisas, durante la iniciación de un cliente LEC, éste solicita al servidor LECS que le proporcione la dirección ATM del servidor LES, del que se servirá a partir de ese momento. El servidor LECS tiene atribuida, de este modo, la función de asignar cual es la red ELAN a la que queda asignado cada cliente LEC de una red ATM.

Merced al procedimiento de asignación descrito de ELAN mediante el servidor LECS, el administrador de la red puede configurar dinámicamente a que ELAN pertenece cada estación. Esta tarea se simplifica, al mantener una única base de datos residente en el servidor LECS.

13. Comunicación fuera de ELAN

Una red ELAN, a diferencia de las LAN, no está limitada en su extensión o cantidad de estaciones a conectar, debido a la tecnología ATM que subyace en ella. No obstante, desde el punto de vista del administrador de red es conveniente restringir su ámbito. Asimismo, será necesario disponer el mecanismo para comunicar las estaciones de una ELAN con estaciones no perteneciente a la misma.

Este mecanismo se podrá implementar mediante dispositivos de interconexión de redes, en dos estructuras distintas. Se podrá emplear para ello, routers IP o mediante puentes según IEEE 802.1d.

13. 1. Comunicación mediante routers IP

Una red ELAN, en cuanto cuenta con idénticas características que una red LAN IEEE 802, puede ser interconectada empleando las mismas soluciones del uso de routers IP. Sin embargo, para su aplicación en una ELAN deberá tenerse en cuenta distintas consideraciones.

En primer lugar, el router IP no es consiente de la presencia de ATM, sino que presupone la existencia de una LAN IEEE 802, por lo tanto son aplicables los mecanismos de encapsulado y de resolución de direcciones diseñados para ese tipo de red. En segundo lugar, la comunicación fuera de una red ELAN a través de un router no puede iniciarla el protocolo LANE, sino el protocolo de interconexión en la estación de origen, esto es el protocolo IP. En tercer lugar al emplear IP la red ELAN, es tratada como una subred por lo tanto deberá tener asignado un netid.

Con el fin de analizar el funcionamiento del protocolo IP cuando interconecta una red ELAN empleamos la Fig. 45, donde especificamos las direcciones MAC e IP para los elementos a ejecutar (Fig. 46).

Supongamos que la estación 158.42.2.16 desea enviar un datagrama IP con destino fuera de su ELAN.

Para ello, debe efectuar primero la entrega del datagrama al router 158.42.2.14, por lo cual debe primero resolver la dirección del router, empleando el protocolo ARP. Envía un mensaje de petición ARP, el que se difundirá a través de la ELAN mediante el protocolo LANE. Este protocolo encapsula el mensaje en una trama LANE de difusión y la envía al servidor BUS. Este servidor, a su vez la difundirá a todos los clientes LEC de su ELAN, a través de la conexión punto a multipunto correspondiente, por lo cual el mensaje ARP llega al router 158.42.2.14.

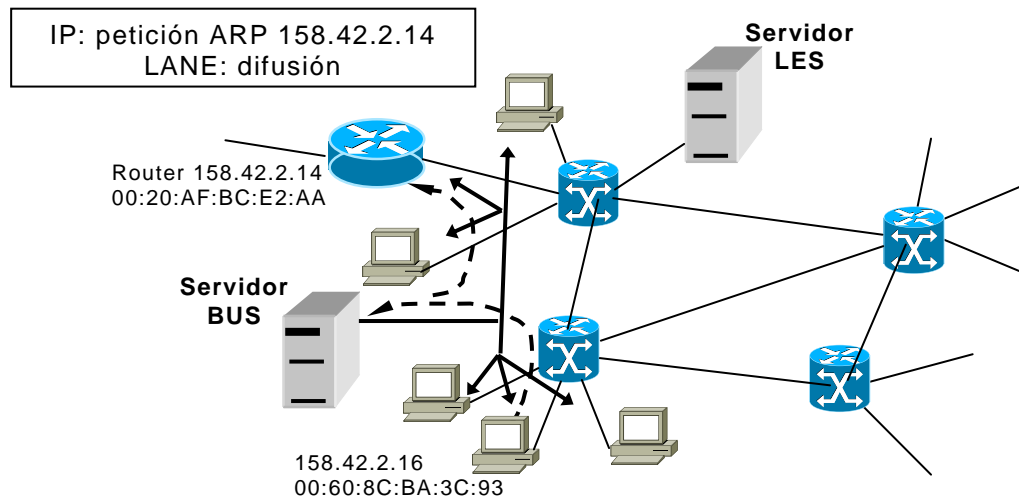


Fig. 46 - Funcionamiento IP sobre LANE (paso 1)

El router una vez que recibe el mensaje de petición ARP, devuelve a la estación 158.42.2.16 un mensaje de respuesta, en el que proporciona su dirección física, es decir la dirección MAC 00:20:AF:BC:E2:AA. Para ello, entrega el mensaje ARP al protocolo LANE, quien lo encapsula en una trama LANE de datos con dirección MAC de destino 00:60:8C:BA:3C:93.

Para hacer llegar esta trama a la estación de destino, el protocolo LANE hace uso del protocolo de resolución LE-ARP, mediante el que solicita al servidor LES de su ELAN, cual es la dirección ATM correspondiente a la dirección MAC 00:60:8C:BA:3C:93. Una vez obtenida la dirección ATM, el router envía la trama a través de una conexión ATM punto a punto (Fig. 47).

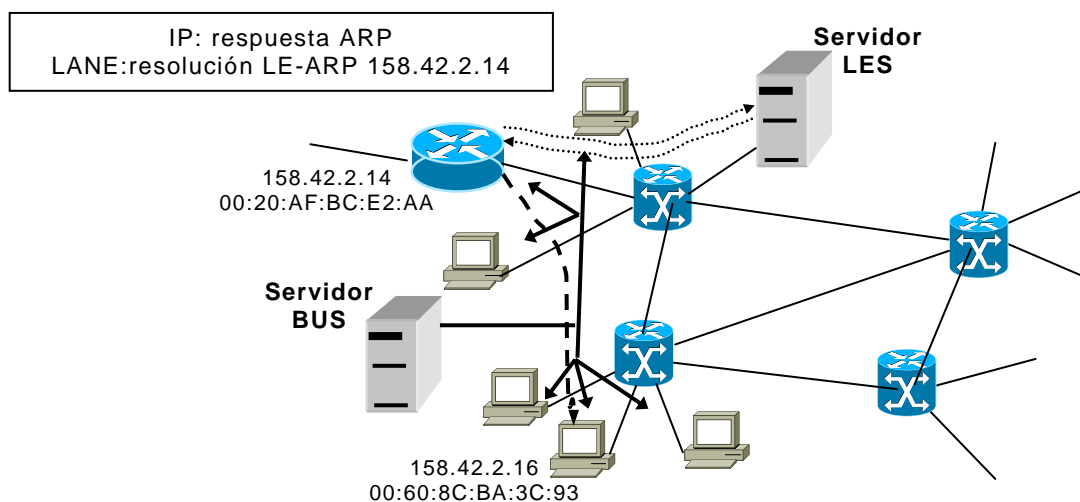


Fig. 47 - Funcionamiento IP sobre LANE (paso 2)

El próximo paso una vez que la estación 158.44.2.16 ha obtenido la dirección MAC del router 158.44.2.14, es encapsular el datagrama IP y enviarlo a través de la red ELAN. Para ello, el datagrama IP se encapsula en una trama LANE de datos, cuya dirección de destino es 00:20:AF:BC:E2:AA.

Para enviar la trama LANE, la estación 00:60:8C:BA:3C:93 deberá averiguar, haciendo uso del protocolo LE-ARP, la dirección ATM correspondiente a la dirección MAC del router 00:20:AF:BC:E2:AA. En este proceso interviene el servidor LES de la red ELAN. Una vez obtenida la dirección ATM, se establecerá una conexión ATM punto a punto con el router y se transmite la trama LANE (Fig. 48).

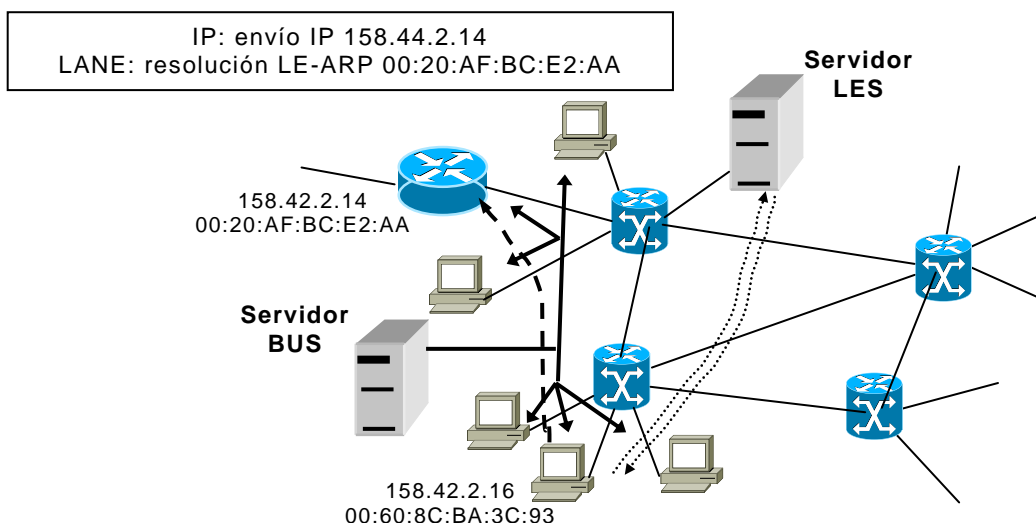


Fig. 48 - Funcionamiento IP sobre LANE (paso 2)

14. Comunicación mediante puentes

Para las redes IEEE 802.3, existe una alternativa de interconexión a la utilización del protocolo IP y es mediante la utilización de puentes transparentes, según la especificación IEEE 802.1d, tal como se vio precedentemente. Entonces las redes ELAN se podrán interconectar con otras redes IEEE 802.3 ó con otras ELAN, mediante puentes transparentes.

La interconexión de una red ELAN con una LAN mediante un puente transparente es una alternativa muy apreciada por los administradores de redes corporativas. La pila de protocolo necesaria para conseguir la interconexión ELAN mediante puentes se muestra en el esquema de la Fig. 49.

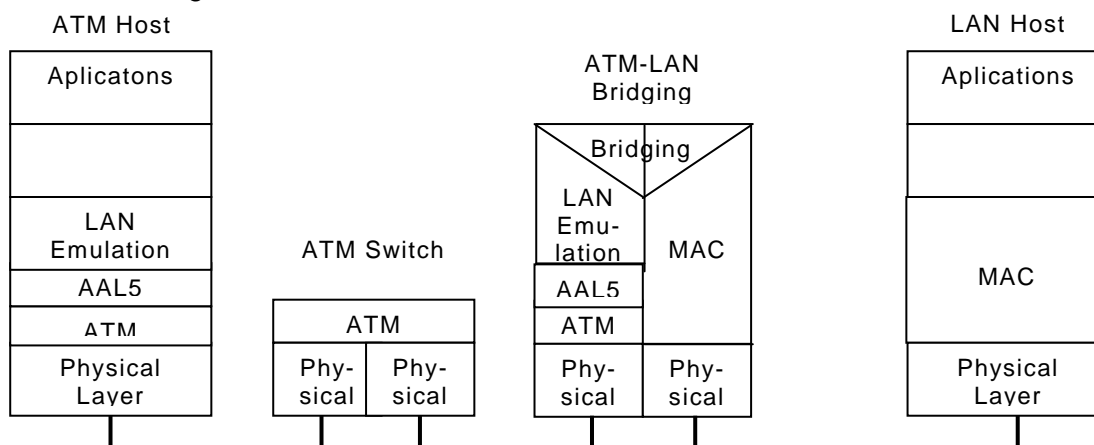


Fig. 49 - Pila de protocolo de interconexión ELAN mediante puentes

En este esquema podemos observar que se consigue transparencia de protocolos a varios niveles, ya que:

- 1º La estación conectada a la red LAN no es consciente de la existencia de otras redes LAN, gracias a la operación del puente transparente.
- 2º El puente transparente no es consciente de la existencia de una red ATM, gracias a la operación del protocolo LANE.
- 3º El protocolo LANE no es consciente de la existencia de otras redes LAN, sean emuladas o no, gracias a la operación del puente transparente.

A pesar de la pretendida transparencia que se consigue con el puente IEEE 802.1d, existe una situación en la operación del protocolo LANE que requiere una consideración especial. Si una estación de la red ELAN desea enviar una trama a una estación de la red LAN, el protocolo LE-ARP deberá devolver la dirección ATM, no a la estación, dado que no la tiene, sino del puente a través del cual es accesible.

Para tener en cuenta esta situación, se han previsto algunas modificaciones del protocolo LE-ARP:

- 1º) Cada puente debe registrar en el servidor LES de la red ELAN a la que pertenece, la dirección ATM asociada a la dirección MAC, así como a todas las direcciones MAC de estaciones conectadas a redes LAN a las que tenga alcance. Evidentemente no es factible registrar todas las estaciones LAN, por dos razones; primero, porque obligaría a mantener una tabla de resoluciones de gran tamaño; segundo, porque el puente desconoce en un momento dado la totalidad de las estaciones LAN a las que pueden alcanzar, debido a que emplea el procedimiento de aprendizaje hacia atrás para rellenar su tabla caché de encaminamiento. Es por ello, que se deja a criterio del administrador de la red la decisión de cuantas y cuales registrar.
- 2º) En aquellos casos en los que el servidor LES, cuando recibe una petición LE-ARP-REQUEST, no reconoce la dirección ATM solicitada, reenvía la petición a todos los clientes LEC de la red ELAN. Con este propósito el servidor LES mantiene una conexión punto a multipunto, denominada *Control Distribute VCC*, de la que él es el nodo raíz. Esta posibilidad está prevista para el caso descrito en el párrafo anterior, pues de otro modo todas las estaciones de las LAN deberán estar registradas en su servidor.

15. Evaluación de la aproximación LANE

La principal ventaja comparativa de la aproximación LANE a la interconexión de redes ATM es la flexibilidad.

Por una parte, LANE emula una red LAN que es el tipo de red que supone la mayoría de las aplicaciones distribuidas y sistemas operativos de red empleados en la actualidad. Por lo tanto, la especificación de LAN Emulación, exige que el Interfase de programación de aplicaciones API (Application Programming Interface), ofrecido por LANE sea uno de los ya utilizados en redes LAN, tales como NDIS, ODI, etc.

Por otra parte, dado que el enmascaramiento de las particularidades de la tecnología ATM tiene lugar en la capa MAC, LANE soporta otros protocolos aparte de IP, por ejemplo IPX ó NetBEUI. Asimismo, la aproximación LANE facilita la configuración de grupos de trabajo mediante agrupamientos en redes ELAN. A diferencia de Classical IP, en LANE se prevé, como se ha mencionado, la configuración de las redes ELAN de forma automática mediante el servidor LECS.

El protocolo LANE ha encontrado una rápida difusión en las redes corporativas, en las que típicamente ha sustituido a las redes troncales de tecnología FDDI. En muchos casos, esos backbone aglutinan el tráfico procedente de segmentos Ethernet ubicados en distintos edificios, plantas o departamentos de empresas.

La interconexión entre el backbone y los segmentos se realizaba mediante puentes transparentes. A partir de este escenario, la vía más rápida de migración a la tecnología ATM, a consistido en establecer un backbone ATM que implementara LAN Emulación.

Sin embargo, LANE muestra una serie de inconvenientes, los que podemos básicamente resumir en dos inhabilidades.

- 1) En LANE el servicio ATM se adapta para emular un servicio con características de sin conexión y sin garantías de QoS, tal cual es el servicio MAC ofrecido por una red LAN. De este modo, al igual que ocurría en Classical IP, no se aprovecha el potencial que a este respecto prometen las redes ATM.
- 2) Cuando LANE se utiliza conjuntamente con un protocolo de interconexión, que podemos suponer IP, se muestran fragantes ineficiencias. Efectivamente, tal y como se comprobó anteriormente, cuando se emplea IP sobre una red ELAN, tienen lugar dos resoluciones de direcciones, una mediante difusión de mensajes ARP, de IP a MAC, y otra mediante petición a servidor LES, de MAC a ATM. Ambas resoluciones son redundantes, pues sencillamente podrían resumirse a una resolución directa de IP a ATM.

Se ha visto como la alternativa de interconexión LANE, facilita la introducción de la tecnología ATM a las redes corporativas. Esto es consecuencia, que cuando una ATM incorpora LANE, la interconexión con otras redes de datos es posible, mediante routers IP/IPX, o mediante puentes transparentes.

Tanto Classical IP como LANE, son opciones de diseño completamente consolidadas y aceptada por administradores de redes corporativas, que se incorporan en gran parte de los equipamientos ATM.

Elementos empleados en los dibujos:

