



- ◆ Trabajo realizado por el equipo de la Biblioteca Digital de la Fundación Universitaria San Pablo-CEU
- ◆ Me comprometo a utilizar esta copia privada sin finalidad lucrativa, para fines de investigación y docencia, de acuerdo con el art. 37 del T.R.L.P.I. (Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual del 12 abril 1996)



Capítulo 11

SISTEMAS DE COMUNICACIONES

RED TELEFÓNICA BÁSICA

Durante mucho tiempo la red telefónica básica (RTB) basada en técnicas analógicas ha sido el único sistema de comunicaciones que se podía utilizar para la transmisión de datos.

Se compone básicamente del propio aparato terminal telefónico, conectado mediante redes de cableado urbano a las centrales telefónicas locales. Éstas, a su vez, están conectadas con el resto de las centrales locales de la red a través de las centrales de tránsito.

Toda central consta de un equipo de conmutación, que es el que permite seleccionar el abonado telefónico al que se desea llamar, y de un equipo de transmisión que es el que transmite las señales de unas centrales a otras.

Los medios de transmisión entre las centrales son muy variados, y van desde cables de pares de hilo de cobre hasta fibra óptica y comunicaciones por satélite.

A lo largo de los años las técnicas de transmisión se han ido perfeccionando desde las analógicas a las digitales, con lo que la calidad de las comunicaciones ha mejorado.

Las ventajas de la red telefónica conmutada son: su fácil acceso y la economía de costes.

Los inconvenientes son su limitada velocidad de transmisión y el lento proceso de establecimiento de cada comunicación, por lo que no es recomendable para la transmisión de grandes cantidades de información.

REDES DE CONMUTACIÓN DE PAQUETES (X25)

A finales de los años sesenta, EE.UU. se dio cuenta de que el sistema de comunicación utilizado por la red telefónica (*conmutación de circuitos*) era demasiado sencillo de inutilizar (ya que si se destruía una central telefónica importante, buena parte de las comunicaciones telefónicas quedarían inutilizadas).

Se diseñó una nueva tecnología denominada *conmutación de paquetes* mediante la cual toda la información que sale de un terminal para ser transmitida por la red es dividida en bloques de una determinada longitud llamados *paquetes*. A cada paquete se le añade una información adicional al comienzo del mismo y, así, se puede mover por la red de forma independiente. Si en un momento dado, una ruta o un nodo de comunicaciones quedara fuera de servicio, los paquetes se desviarían por otras rutas para llegar a su destino.

Estas redes de conmutación de paquetes (X25) consiguen una utilización más eficiente de la red, evitan las saturaciones y aumentan la velocidad máxima disponible, así como la calidad de la comunicación.

En este tipo de redes un mismo camino físico puede llevar información de más de una comunicación, por lo que para diferenciar unas comunicaciones de otras se utiliza un camino lógico (*canal lógico*).

Cada canal lógico se va estableciendo al ir asignando a cada comunicación un número de canal lógico distinto. Este número va en la cabecera de cada uno de los paquetes y es el mismo para todos los paquetes de una misma comunicación.

El número de canales que debe tener un terminal depende del número de terminales remotos que pueden acceder a él, así como del modo de trabajo de cada uno de ellos.

Tipos de comunicaciones

En las redes de conmutación de paquetes existen tres formas de efectuar la comunicación de datos:

- Circuito Virtual Conmutado (CVC).
- Circuito Virtual Permanente (CVP).
- Datagrama.

Un **Circuito Virtual Conmutado (CVC)** es el modo normal de conexión de terminales e indica que no existe un camino fijo entre el terminal origen y el de destino durante la comunicación, sino que los sucesivos paquetes enviados utilizan los medios de que dispone la red, conjuntamente con otros paquetes de otras comunicaciones llamadas virtuales.

Un **Circuito Virtual Permanente (CVP)** indica que existe una asociación permanente entre dos terminales, de forma que no requieren procedimientos de establecimiento o liberación de la comunicación entre ellos. Es similar a una conexión punto a punto, pero virtual, ya que distintas parejas de terminales pueden compartir los mismos medios de comunicación dentro de la red, entrelazando sus paquetes de tal forma que, virtualmente, únicamente exista un circuito permanente entre ellos.

Un **datagrama** permite que cada paquete recibido por la red se entregue en la dirección de destino especificada con independencia de cualquier otro paquete que dicho terminal envíe o haya enviado formando parte del mismo mensaje.

Tipos de accesos

A las redes de conmutación de paquetes se puede acceder de dos formas distintas:

- A través de la red telefónica marcando unos números de teléfono.
- Contratando un acceso dedicado con una velocidad y facilidades concretas. Esta forma está indicada para los terminales X25 que acceden a la red utilizando el mismo protocolo X25 que usa la red. En caso de no ser así, deberá contar con un *desensamblador-ensamblador de paquetes (DEP)* que convierta los bloques enviados por los terminales en paquetes X25.

CIRCUITOS PUNTO A PUNTO

Un circuito punto a punto es un conjunto de medios que hacen posible la comunicación entre dos puntos determinados, de forma permanente y sin posibilidad de acceder a la red pública telefónica ni a ningún otro circuito, durante las 24 horas del día, sin necesidad de realizar ningún tipo de marcado para establecer la comunicación.

Este tipo de circuitos está indicado siempre que se deseen transmitir grandes volúmenes de datos entre dos puntos o una velocidad de transmisión alta.

El ancho de banda que se puede contratar puede llegar hasta los 2.048 Kbps.

FRAME RELAY

Frame Relay (retransmisión de tramas) es un protocolo de conmutación de paquetes que se fragmentan en unidades de transmisión llamadas **tramas** y se envían en ráfagas de alta velocidad a través de una red digital. Establece una conexión exclusiva durante el período de transmisión denominada **conexión virtual**.

Utiliza una tecnología denominada de paquete rápido en la que el chequeo de errores no se produce en ningún nodo intermedio de la transmisión si no que se hace en los extremos. Esto hace que sea más eficiente que X25 y se consiga una mayor velocidad de proceso (puede transmitir por encima de 2.044 *Mbps*).

Otra de las ventajas es que necesita centros de conmutación (*nodos*) menos potentes y con menos capacidad de memoria que los necesitados por X25 (cada centro de conmutación X25 utiliza el método de recibir-almacenar-comprobar-retransmitir, mientras que *Frame Relay* no necesita la comprobación ni la corrección de los errores).

Si el tráfico es muy intenso, con una gran cantidad de paquetes de pequeña longitud, su rendimiento es superior a X25.

Si se transfieren grandes archivos a altas velocidades, la relación precio/rendimiento es superior en X25.

RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS

La *Red Digital de Servicios Integrados (RDSI)* supone la digitalización completa, de forma que toda la comunicación que se establezca será en forma digital, proporcionando una amplia gama de servicios.

La capacidad de transferencia de información entre el usuario y la *RDSI* está estructurada en forma de canales de transferencia de información:

- **Canal A.** Es un canal analógico de 4 *Khz*.
- **Canal B.** Es un canal digital de 64 *Kbps* que está destinado al transporte de información del usuario.
- **Canal C.** Es un canal digital de 8 ó 16 *Kbps*.
- **Canal D.** Es un canal digital de 16 ó 64 *Kbps* destinado principalmente a la transmisión de información de señalización usuario-red para el control de la comunicación, aunque también puede ser utilizado en determinadas condiciones para la transferencia de información del usuario en servicios de teleacción (telealarma, telecontrol y telemedida) y de transmisión de datos de baja capacidad.
- **Canal E.** Es un canal digital de 64 *Kbps* (usado para señales internas *RDSI*).

- **Canal H.** Es un canal digital de 384, 1.536 ó 1.920 *Kbps* que proporciona al usuario una capacidad de transferencia de la información.

Estos canales pueden ser combinados de diferente manera dando lugar a varios tipos de acceso:

- Acceso básico.
- Acceso primario.
- Acceso híbrido

Acceso básico

El **acceso básico**, también conocido como *acceso 2B+D*, *BRA (Basic Rate Access)* o *BRI (Basic Rate Interface)*, proporciona al usuario dos canales *B* y un canal *D* de 16 *Kbps*.

Permite establecer hasta dos comunicaciones simultáneas a 64 *Kbps*, pudiendo utilizar la capacidad del canal *D* para la transmisión de datos a baja velocidad.

La aplicación principal de este tipo de acceso se da en las instalaciones de redes locales pequeñas dotadas de un número pequeño de terminales (hasta ocho) que necesiten transmisión digital o centralitas digitales de pequeña capacidad.

Acceso primario

El **acceso primario**, también llamado *acceso 30B+D*, *PRA (Primary Rate Access)* o *PRI (Primary Rate Interface)*, ofrece al usuario 30 canales *B* y un canal *D* de 64 *Kbps*, por lo que proporciona un ancho de banda de hasta 2.048 *Kbps* (en EE.UU. consiste en 23 canales *B* y un canal *D* de 64 *Kbps*, por lo que proporciona un ancho de banda de hasta 1.544 *Kbps*).

Permite establecer hasta treinta comunicaciones simultáneas a 64 *Kbps* sin que esté previsto actualmente utilizar la capacidad del canal *D* para la transmisión de datos.

También puede utilizar otras combinaciones de canales *B*, *H0*, *H11* y *H12*, aunque siempre respetando el límite de velocidad de 2.048 *Kbps*.

La principal aplicación de este tipo de acceso es la conexión a *RDSI* de centralitas digitales, sistemas multilínea y redes de área local de mediana y gran capacidad.

Acceso híbrido

Es un método de acceso que incluye un canal *A* y un canal *C*.

ATM

ATM (Asynchronous Transfer Mode) En 1988, *CCITT* (actualmente denominado *ITU-T*) designó a *ATM* como el mecanismo de transporte planeado para el uso de futuros servicios de banda ancha. *ATM* es un circuito de transmisión de datos digitales de alta velocidad que en condiciones experimentales ha llegado a transferir datos hasta *2.448 Gbps* (aunque las implementaciones iniciales han llegado a transmitir a *622 Mbps*). La *IEEE Spectrum* asegura que esta velocidad se podrá incrementar en un futuro próximo a los *10 Gbps*.

Utiliza preferentemente cableado de fibra óptica aunque también puede trabajar con *UTP* de categoría 3 ó 5 (con una velocidad máxima de *155 Mbps*) y se utiliza preferentemente en *WAN* (aunque también puede usarse en *LAN* y *MAN*).

Organiza los datos en celdas de un tamaño de *53 bytes*. Es asíncrono porque y las transmite a través de la red sin tener que ocupar fragmentos específicos de tiempo en alineación de paquete. Individualmente, cada celda está formada por *48 bytes* de datos precedidos de *5 bytes* de información de encaminamiento que se coloca en la cola de salida a la espera de ser multiplexada.

Es una tecnología orientada a conexión (significa que se necesita establecer una conexión entre dos puntos antes de realizar cualquier transferencia de los datos). Una vez que la conexión está establecida, las celdas se autoencaminan porque cada una de ellas contiene una cabecera que identifica la conexión de la celda a la cual pertenecen.

Define dos interfaces específicas que son: *UNI (User-Network Interface)* y *NNI (Network-Network Interface)*. *UNI* une un dispositivo de usuario a la red *ATM* y *NNI* describe una conexión entre dos nodos *ATM*.

Dentro de *UNI* hay desarrolladas dos interfaces públicas: una a *45 Mbps* y otra a *155 Mbps*, y tres privadas: una a *100 Mbps* y dos a *155 Mbps* (la interfaz estándar internacional *SDH/SONET* de *155 Mbps* permite interoperabilidad entre públicas y privadas).

Como *ATM* es una red orientada a conexión, un enlace entre dos puntos empieza cuando uno transmite una solicitud a través de la *UNI* a la red. Un dispositivo responsable de señalización pasa la señal a través de la red a su destino. Si el sistema indica que se acepta la conexión, un circuito virtual se establece a través de la red *ATM* entre los dos puntos. Ambas interfaces contienen mapas para que las celdas puedan ser encaminadas correctamente.

Cada celda contiene los siguientes campos:

- Un campo de *1 bit* reservado para uso futuro.
- Un campo de *8 bits* denominado *HEC (Header Error Control)* que se utiliza para detectar errores.

- Un campo de *4 bits* denominado *Generic Flow Control* que en un futuro servirá para permitir al usuario crear una conexión a uno o varios terminales (este campo no existe en una interfaz *NNI*).
- Un campo de *2 bits* denominado *Maintenance Payload Type* que indica a un nodo *ATM* si la celda se está usando para mantenimiento de la red o es para uso normal.
- Un campo de *1 bit* denominado *Priority Type Identifier (PTI)* que se utiliza para distinguir entre celdas con diferentes prioridades.
- Un campo de *8 bits* formado por un identificador de ruta virtual denominado *VPI (Virtual Path Identifier)* que se utiliza para indicar la ruta de encaminamiento (este campo tiene una longitud de *12 bits* en una interfaz *NNI*).
- Un campo de *16 bits* formado por un identificador de circuito virtual *VCI (Virtual Circuit Identifier)* que se utiliza para indicar la ruta de encaminamiento.

ATM es totalmente transparente a cualquier protocolo. La carga de cada celda es pasada por el nodo *ATM* sin ser leída a nivel binario. *ATM* utiliza el concepto de control de error y flujo entre puntos finales (esto significa que la red en sí no chequea la carga de los datos para errores y lo deja al dispositivo terminal final) en contraste a una red convencional de paquete conmutado que utiliza un control de error y flujo interno.

Para adecuar la velocidad del enlace a la de los dispositivos conectados se insertan celdas no asignadas.

Está diseñado para manejar los siguientes tipos de tráfico:

- **Clase A.** Velocidad de transmisión constante, orientado a conexión, tráfico síncrono (por ejemplo, voz o vídeo sin compresión).
- **Clase B.** Velocidad de transmisión variable, orientado a conexión, tráfico síncrono (voz y vídeo comprimidos).
- **Clase C.** Velocidad de transmisión variable, orientado a conexión, tráfico asíncrono (*X.25*, *Frame Relay*, etc.).
- **Clase D.** Información de paquete sin conexión (tráfico *LAN*, *SMDS*, etc.).

Todos estos tipos de tráfico son manejados por el **Nivel de Adaptación ATM (AAL)** cuyo objetivo es proporcionar las funcionalidades necesarias para los diversos tipos de servicios soportados y por el **Nivel Físico** que se utiliza para adecuación a los distintos medios físicos y estructuras de transporte.

Niveles ATM

Para permitir mayor flexibilidad, las especificaciones *ATM* se dividen en tres niveles. En la tabla inferior se muestra la correspondencia entre cada uno de ellos y los niveles *OSI* (como puede apreciarse hay niveles *OSI* que no tienen correspondencia en *ATM*):

MODELO ATM	MODELO OSI
MEDIO FÍSICO	FÍSICO
CONVERGENCIA DE TRANSMISIÓN	
ATM	ENLACE DE DATOS
ADAPTACIÓN ATM	
	RED
	TRANSPORTE
	SESIÓN
	PRESENTACIÓN
	APLICACIÓN

El Nivel Físico ATM, cuya función es el transporte de las celdas *ATM*, se divide en dos:

- **Subnivel dependiente del medio físico (PMD)** que lleva a cabo funciones que dependen del medio físico (eléctrico u óptico), como son la transmisión y temporización de *bits*. El medio físico utilizado es par trenzado, utilizándose dos pares por enlace, uno para emisión y otro para recepción. Se puede utilizar tanto *UTP* de categoría 3 ó 5 como *STP*.
- **Subcapa de Convergencia de Transmisión (TC)** que es responsable de todas las funciones relacionadas con la transmisión de las celdas, como son el control de errores de cabecera, la delimitación de las celdas a las tramas de transmisión y la generación y recuperación de tramas.

El Nivel Enlace de datos ATM está dividido en dos:

- **Nivel ATM** que es responsable de añadir el campo de cabecera para establecer los mecanismos de encaminamiento, control de flujo y corrección de errores, pero su misión principal es la transferencia del flujo de células a través de la red. Para ello, el Nivel ATM realiza las siguientes funciones:
 - **Multiplexación/desmultiplexación de celdas.** Cuando se emiten se combinan celdas de diferentes *Trayectos Virtuales (TV)* y *Canales Virtuales (CV)*, en una única corriente de celdas. Cuando se reciben, se ha de realizar el proceso inverso, es decir, se dirigen las celdas a sus correspondientes *TV* y *CV*. En los nodos intermedios tiene lugar una

función de encaminamiento y, para ello, se utilizan los campos de la cabecera de la celda denominados *VPI* e *VCI*.

- **Generación/Extracción de cabecera de la célula.** Cuando se emiten, esta función genera la cabecera de la celda, una vez recibida la información de la capa superior (con excepción del campo *HEC*, que se calcula e inserta por la Nivel Físico). Cuando se reciben se extrae la cabecera de la celda y se pasa el campo de información a la capa superior.
 - **Traslación VPI/VCI.** Los campos *VPI* e *VCI* son etiquetas que identifican los *TV* y *CV* en cada enlace. No se trata de direcciones explícitas, pues, debido a su longitud, no podrían estar contenidas en la cabecera de la celda y, como tienen una validez local, es necesario cambiarlas en los nodos de conmutación, utilizando esta función.
 - **Control de Flujo Genérico.** El objetivo de esta función es controlar el flujo de celdas de los usuarios a la red en la *UNI* (nunca a la inversa). Su utilización está siendo objeto de debate en los foros y organismos de normalización, habiéndose especificado otros mecanismos para control de congestión.
- **Nivel Adaptación ATM (AAL)** cuya misión es complementar las funciones ofrecidas por el Nivel ATM para poder soportar los distintos tipos de tráfico que pueden transferirse por una red *ATM*. Está organizado en dos subcapas:
 - **Subcapa de convergencia (CS).** Tiene como misión realizar funciones específicas para cada servicio, como el tratamiento de la variación de retraso de celdas, sincronización extremo a extremo o tratamiento de las celdas perdidas o mal insertadas. Por ello, pueden existir diferentes *CS* (dependiendo del servicio) sobre la subcapa *SAR*.
 - **Subcapa de Segmentación y Reensamblado (SAR).** Segmenta la información de las capas superiores para construir la carga de las celdas *ATM* y, recíprocamente, reensambla los campos de información de las celdas en unidades de información para las capas superiores.
- Para soportar los distintos tipos de tráfico se han definido las siguientes especificaciones *AAL*:
- **Nivel AAL^{3/4}** que está pensado para transmitir paquetes *SMDS* sobre una red *ATM*.
 - **Nivel AAL1** que se diseñó fundamentalmente para transportar tráfico que normalmente sería conducido por circuitos dedicados.

- **Nivel AAL5** que se diseñó para la utilización del protocolo *IP* sobre redes *ATM* y *Emulación LAN (LANE)*.

Canales Virtuales y Trayectos Virtuales

El **Canal Virtual (CV)** se define en *ATM* como un término genérico que sirve para describir la capacidad de comunicación unidireccional para transportar celdas.

El **Trayecto Virtual (TV)** es un término genérico que sirve para designar un agrupamiento de *Canales Virtuales*. Todos los *CV* de un *TV* tienen los mismos puntos de terminación.

Así pues, los conceptos de *CV* y *TV* son genéricos. Desde una perspectiva arquitectónica, también en *ATM* se utiliza el término objeto para designar a cada una de las entidades abstractas que se pueden establecer en dicha arquitectura. Estos objetos son:

- **Enlace de Canal Virtual (ECV)** que es un medio de transporte unidireccional de células *ATM* entre el punto en el que el *Identificador de Canal Virtual (VCI)* se asigna y el punto en el que el *VCI* se termina o traslada. Hay que recordar que los *VCI* tienen un significado local (es decir, un *VCI* identifica un *ECV* determinado dentro de un *Enlace de Trayecto Virtual*).
- **Conexión de Canal Virtual (CCV)** que es básicamente una concatenación de *ECV*. En el plano del usuario, consiste en una conexión extremo a extremo que permite a los usuarios enviar datos. Este concepto es similar al del circuito virtual en *X.25* con la diferencia de que una *CCV* transporta datos en una única dirección.
- **Enlace de Trayecto Virtual (ETV)** que es una agrupación de *ECV* con los mismos puntos de terminación.
- **Conexión de Trayecto Virtual (CTV)** que es una concatenación de *ETV*. Por consiguiente, todas las celdas del conjunto de los *CCV* se conmutan conjuntamente en una única *CTV*. De esta forma, se reducen los costes de control y gestión de la red.

Parámetros de tráfico y Calidad de Servicio

Cuando se establece una conexión *ATM* se constituye lo que se denomina un *contrato de tráfico* en el que se especifican los **parámetros de tráfico** y los parámetros de **Calidad de servicio (QoS)** (la calidad de servicio es un concepto importante en *ATM* que describe las propiedades del tráfico de una conexión determinada como pueden ser los picos y el ancho de banda sostenido).

Entre los parámetros más significativos y aceptados por los organismos de normalización, como la *UIT-T* o el *ATM Forum* se pueden citar:

- **Parámetros de tráfico:**
 - **PRC.** Indica la máxima velocidad de las celdas.
 - **SCR.** Indica la velocidad sostenida de las celdas.
 - **MBS.** Indica el tamaño máximo de la ráfaga.
 - **MCR.** Indica la velocidad mínima de las celdas.
- **Parámetros de QoS:**
 - **CER (Cell Error Ratio).** Indica el coeficiente de error de las celdas.
 - **S-ECBR (Severely-Errored Cell Block Ratio).** Indica el coeficiente de bloques de células con errores severos.
 - **CLR (Cell Loss Ratio).** Indica el coeficiente de celdas perdidas.
 - **CMR (Cell Misinsertion Rate).** Indica las celdas mal insertadas por unidad de tiempo.
 - **CTD (Cell Transfer Delay).** Indica el retraso de transferencia de las celdas.
 - **MCTD (Mean Cell Transfer Delay).** Indica el retraso medio de transferencia de las celdas para una o más conexiones.
 - **CDV (Cell Delay Variation).** Indica la variación del retraso de las celdas.

Con objeto de estructurar los anteriores conceptos, los organismos de normalización están tratando de definir un conjunto de clases de calidad de servicio o modos de transferencia que puedan ser utilizados en los contratos de conexión. No existe por el momento una total armonización, si bien hay una aceptación general sobre los modos de transferencia que se comentan a continuación:

- **CBR (Constant Bit Rate).** Proporciona una velocidad fija. Se define con el parámetro de tráfico *PRC* y es adecuada para tráfico de voz o de vídeo con velocidad constante.
- **VBR (Variable Bit Rate).** Proporciona una capacidad de velocidad variable. Es adecuada para los servicios de vídeo de calidad constante (velocidad variable).
- **UBR (Unspecified Bit Rate).** No garantiza valores respecto al retraso o a la pérdida de celdas. Conceptualmente, puede asimilarse a la idea de datagrama.
- **ABR (Available Bit Rate).** Se garantiza un bajo valor para las pérdidas de celdas a costa de no proporcionar ninguna garantía respecto a la variación de retraso. El parámetro de tráfico que lo define es *MCR*. Es la única clase en la que se utiliza control de congestión. Es adecuada para aplicaciones de datos cuyo tiempo de respuesta no sea crítico.

- **ABT (ATM Block Transfer)**. Es similar a *ABR*. La diferencia es que la fuente, antes de transmitir una ráfaga, debe solicitar autorización a la red y ésta aceptará la transferencia en caso de que existan recursos disponibles.

La tecnología ATM en redes de área local

Las características de la tecnología *ATM*, como su adaptación a todo tipo de tráfico, ancho de banda, multiplexación estadística, posibilidad de utilización del cableado existente, solución universal para redes de área extensa y de área local, y su escalabilidad, la convierten en una solución muy atractiva para el soporte de redes de área local y grupos de trabajo virtuales. Si bien lo razonable es que *ATM* se integre en una primera fase en los servidores de tráfico elevado y/o de servicios de audio e imagen animada, o en estaciones de trabajo con aplicaciones críticas, el hecho es que, en la actualidad existen ya tarjetas *ATM* que pueden operar con cable *UTP-3*, a precios razonables.

Obviamente la utilización de la tecnología *ATM* en redes de área local tiene que contemplar tanto los aspectos de migración como los de coexistencia con los millones de estaciones de trabajo que están utilizando todo tipo de arquitecturas. El problema dista de ser sencillo porque los conceptos de redes de área local basadas en medio compartido tienen características muy distintas a los de la tecnología *ATM* (ésta es una tecnología de conmutación y aquélla se basa en procedimientos de difusión).

ATM puede integrarse en una *LAN* como un **sistema basado en concentradores** (básicamente constituidos por los propios conmutadores *ATM*) o como un *sistema basado en encaminadores*, entre los cuales, los nodos *ATM* realizan la función de conmutación.

En el **sistema basado en concentradores**, *ATM* proporciona conexiones directas entre los dispositivos que requieren gran ancho de banda, mientras que la mayoría de los usuarios continúan conectados a las redes clásicas. Este sistema es, naturalmente, compatible con el uso de encaminadores que pueden incorporarse para aislar subredes por razones de administración o seguridad.

En el **sistema basado en encaminadores**, *ATM* proporciona una red dorsal entre encaminadores. En un principio, *ATM* se contemplaba como un enlace punto a punto conmutado entre encaminadores. Posteriormente, el concepto se amplió, de manera que se incorporaron funciones de encaminamiento mediante encaminadores externos, con lo que sobre una sola red física *ATM* se pueden establecer múltiples subredes *IP* lógicamente independientes.

IP SOBRE ATM

Para analizar la operación del **sistema basado en encaminadores**, se considera el caso del encaminamiento *IP*. Este modelo está descrito en la *RFC 1577*, en la que se propone una arquitectura en la que *ATM* sustituye a las redes que

tradicionalmente conectan nodos *IP*. Se ella se definen la operación de *IP* sobre *ATM*, la encapsulación de paquetes y la resolución de direcciones.

EMULACIÓN DE LAN

Para mantener la compatibilidad con los protocolos y redes locales tradicionales, el *ATM Forum* decidió emular las *LANs* a nivel *MAC (Medium Access Control)*, que es una parte del nivel de enlace de datos de *OSI*, para minimizar los cambios necesarios para la migración y coexistencia con la tecnología *ATM*. Por su difusión se decidió entonces que fueran las redes *Ethernet/IEEE 802.3* y *Token Ring/IEEE 802.5*, las *LAN* designadas a emular y se adoptó una solución con arquitectura cliente/servidor.

En concreto, según la especificación, la **Emulación de LAN (LANE)** debe proporcionar:

- Servicios no orientados a conexión.
- Servicios de difusión (*broadcast*) y grupos funcionales de direcciones.
- Interfaces de dispositivos *MAC* en las estaciones *ATM* (el objetivo principal del servicio de emulación de *LAN* es permitir que las aplicaciones existentes accedan a una red *ATM* a través de pilas de protocolos (*IP*, *NetBIOS*, *IPX*, *AppleTalk*, etc.) como si estuvieran ejecutándose sobre una *LAN* tradicional; (también se incluyen aquí las interfaces estandarizadas para los dispositivos *MAC*, como *NDIS*, *ODI*, etc.).
- *LAN* emuladas (quiere indicar un grupo de dispositivos unidos por *ATM* que lógicamente es análogo a un grupo de estaciones de *LAN* unidas a segmentos *Ethernet* o *Token Ring*, es decir, una *LAN* virtual a través de *ATM*).
- Interoperación con las *LAN* existentes (no sólo se permite interoperación entre sistemas finales *ATM*, sino interoperación con estaciones conectadas a *LAN*. Esto incluye interoperación entre estaciones *ATM* y estaciones *LAN* así como entre dos estaciones pertenecientes a distintas *LAN* pero unidas a través de *ATM*).

La *Emulación de LAN* ha sido definida por el *ATM Forum* en el documento **LAN Emulation over ATM**.

Arquitectura de Emulación de LAN

Una *LAN emulada (ELAN)* tiene dos componentes principales: los **Clientes de Emulación de LAN (LEC)** y el **Servicio de Emulación de LAN (LES)**.

LEC es la entidad que lleva a cabo la entrega de los datos, la resolución de direcciones y algunas funciones de control. Interactúa con el *Servicio de Emulación de*

LAN a través de una interfaz completamente definida a nivel MAC, denominada LUNI (**LAN Emulation User to Network Interface**) y utilizando **Unidades de Datos del Protocolo (PDU)** que pueden usar los niveles superiores. Su *software* debe residir en los convertidores de ATM a LAN o en los sistemas finales de ATM.

El *software* que proporciona LES se arquitectura mediante tres servidores lógicos:

- **Servidor de Configuración de Emulación de LAN (LECS).** LECS mantiene una base de datos con información de configuración de la LAN emulada. Hay un LECS lógico por cada LAN emulada. Cuando un LEC se inicia, una de las primeras acciones que realiza es establecer una conexión con el LECS enviándole su configuración e incluyendo la dirección ATM del Servidor de Emulación LAN con el que debería contactar para unirse a la LAN emulada. La base de datos del LECS (que puede ser centralizada o distribuida) debería ser iniciada normalmente por el administrador de la red.
- **Servidor de Emulación de LAN.** Este servidor es encargado de la resolución de direcciones en una LAN emulada. Cuando un LEC recibe de los niveles superiores un paquete para su envío, busca la dirección MAC destino en sus tablas. Si ya tiene una conexión asociada con dicha dirección, le transmite el paquete. Si no tiene establecida la conexión, pero conoce la dirección ATM asociada con la dirección MAC destino, solicita entonces que se establezca una conexión con el destino. Si no tiene la conexión establecida y no conoce la dirección ATM, tiene que enviar una petición LE_ARP (**LAN Emulation Address Resolution Protocol**) al Servidor de Emulación de LAN preguntándole por la dirección ATM asociada con la dirección MAC destino.

El Servidor de Emulación de LAN puede guardar en su caché las asignaciones de direcciones ATM y MAC. Estas asignaciones se mantienen cuando los LECs se registran en el Servidor de Emulación de LAN. Si se conoce la asignación, el Servidor de Emulación de LAN puede contestar directamente al LEC, proporcionándole la dirección ATM que necesita para establecer la conexión con el destino.

Si el Servidor de Emulación de LAN no conoce la dirección MAC, entonces difunde la petición LE_ARQ a los LECs de la LAN emulada. Cuando un LEC recibe una petición LE_ARP, verifica en sus propias tablas si la dirección MAC solicitada es la suya propia o si la conoce porque ese LEC está actuando como un apoderado de dirección MAC. Si es un apoderado, ese LEC envía una respuesta LE_ARP de retorno al Servidor de Emulación de LAN. Éste, a su vez, la devuelve al LEC que originó la petición LE_ARP. El LEC puede estar programado para recordar estos detalles en su caché.

Una vez conocida la dirección MAC de destino (o la de apoderado), se puede establecer una *Conexión Directa de Datos* entre el LEC que originó la petición y el destino.

- **Servidor de Difusión y Direcciones Desconocidas (BUS).** BUS es el servidor de difusión para una LAN emulada. Se establece una conexión punto a punto desde cada LEC en la LAN emulada y el BUS, cuando el cliente LEC se une a la LAN. Los paquetes que LEC recibe de sus niveles superiores para que sean difundidos se envían al BUS, el cual los recibe como paquetes completos. El BUS envía los paquetes a todos los LECs, usando una conexión punto a multipunto. Esto se lleva a cabo mediante una política FIFO (un paquete cada vez), de tal forma, que no se mezclan las celdas de diferentes paquetes en la salida.

Los LECs también envían paquetes cuyo destino es aún desconocido para el BUS. Éste envía dichos paquetes a todos los LECs que en el momento de la conexión se registraron como preparados para recibir dichos paquetes de destino desconocido (normalmente puentes, encaminadores, etc., conocidos genéricamente como *apoderados*).

Trabajando juntos, los tres servidores realizan en una LAN emulada las siguientes funciones: transferencia de datos punto a punto entre una estación final y otra (*unicast*), transferencia de datos punto a multipunto desde una estación final a varias estaciones (*broadcast* o *multicast*) y la resolución de direcciones MAC a direcciones ATM.

El ATM Forum ha dejado bastante libertad a los implementadores en cuanto a la localización física de estos tres servidores. Por ejemplo, los tres servidores podrían estar implementados en un nodo de la red ATM como una única aplicación o estar distribuidos en la red (por ejemplo, con el LEC corriendo en un nodo de la red, el LECS corriendo en un sistema final ATM y el BUS residiendo en un convertidor ATM a LAN). En condiciones normales de tráfico, se suelen implementar en un único dispositivo.

Operaciones que se siguen en una Emulación de LAN

Básicamente, la actividad que se desarrolla en una LAN emulada es la siguiente:

1. **Iniciación.** Lo primero que hace un Cliente de Emulación de LAN (LEC) es localizar y crear una conexión con la dirección ATM del Servidor de Configuración de Emulación de LAN (LECS). Puede hacerlo de tres maneras distintas: utilizando ILMI (**Interim Local Management Interface**) para intentar encontrar la dirección del servidor de configuración en una tabla, a través de una dirección ATM conocida o utilizando el circuito virtual reservado. Esta conexión inicial LEC-LECS se denomina **CCV Directa de Configuración**.

2. **Configuración.** Una vez que el cliente ha establecido la conexión con el *LECS*, transmite una trama de **Petición de Configuración (Configuration Request)** que contiene su dirección *ATM*, su dirección *MAC* e información del tipo de *LAN* que soporta, y el tamaño máximo de trama que acepta. El *LECS* devolverá información del tipo de *LAN* y la dirección *ATM* del *Servidor de Emulación de LAN*. En este momento, el *LEC* puede terminar la conexión con el *LECS*.
3. **Unión.** El *LEC* crea entonces una conexión con el *Servidor de Emulación de LAN* denominada **CCV Directa de Control**. Una vez que la conexión se ha establecido, el *LEC* transmite una trama de **Petición de Unión (Join Request)** que contiene información específica de la *LAN emulada*. El *Servidor de Emulación de LAN* valida la petición de unión del *LEC* y, si éste es un *apoderado* (por ejemplo, un puente transparente), el *Servidor de Emulación de LAN* crea una **CCV Distribuida de Control** con el *LEC* (que se usará para enviar peticiones de resolución de direcciones que el *Servidor de Emulación de LAN* es incapaz de responder directamente). Una vez que el *Servidor de Emulación de LAN* ha validado la **Petición de Unión** y, si ha sido necesario, ha creado la **CCV Distribuida de Control**, devuelve una **Respuesta de Unión (Join Response)**, indicando el estado, el tipo de *LAN* y el tamaño de trama.
4. **Registro en el BUS.** Una vez que el cliente se ha registrado en el *Servidor de Emulación de LAN*, éste le preguntará cuál es la dirección *ATM* que se corresponde con la dirección *MAC* de la difusión (es la dirección *broadcast* que se utiliza para indicar que un mensaje está dirigido a todas las estaciones de la red). Esta dirección es la dirección *ATM* del *BUS*. El cliente entonces establece la conexión de datos con el *BUS* (el cual añade el cliente tanto a su conexión virtual punto a multipunto como a su conexión punto a punto), dentro de su topología.
5. **Transferencia de datos.** En ese momento, el *LEC* está listo para enviar datos a otra estación de la *LAN emulada*. Cuando el *LEC* recibe la orden de enviar un paquete desde sus niveles superiores, hace una consulta para conocer la dirección *ATM* destino (el *bit* inicial de la dirección *MAC* destino le indica si el paquete va a una sola dirección o va dirigido a varias estaciones). Si va dirigido a varias estaciones, el paquete se pasa al *BUS* para que sea distribuido en la red. Si va a una sola dirección, el *LEC* comprueba si conoce la dirección *ATM* que corresponde a la dirección *MAC*. Si la conoce, comprueba si tiene ya establecida una conexión virtual (en caso de tenerla, envía el paquete y, si no es así, utiliza los procedimientos de señalización para establecerla). Si no la conoce, produce una petición *LE_ARP* al *Servidor de Emulación de LAN* solicitándola.

El *BUS* acepta tramas de difusión desde las diferentes **Conexiones de Envío Multidestino (CCV Multicast Send)** y las entrega a la **Conexión de Reenvío multidestino (CCV Multicast Forward)**.

SMDS

SMDS (Switched Multimegabit Data Service) es un servicio público conmutado de transferencia de datos cuyo objetivo principal es proporcionar un servicio de transmisión de información no orientado a conexión, similar al ofrecido por las redes locales (alta velocidad y bajo retardo) dentro de un área metropolitana. Los datos se transfieren a altas velocidades sobre líneas *T1* y *T3* y utiliza paquetes pequeños de 53 bytes denominados celdas (*cells*) que siguen un circuito virtual. Estas celdas están formadas por 48 bytes de datos precedidos de 5 bytes de información de encaminamiento.

Debido a sus características, *SMDS* se puede utilizar para la interconexión de redes *Ethernet*, *Token-Ring* y fibra óptica en áreas metropolitanas. Soporta los protocolos *TCP/IP*, *IPX/SPX*, *DECNet*, *AppleTalk*, *SNA* y *OSI*.

En lo referente a las velocidades de transmisión ofrecidas, *SMDS* se situaría exactamente entre *Frame Relay* y *ATM*. *Frame Relay* trabaja entre 56 Kbps y 45 Mbps, *SMDS* entre 0.5 y 45 Mbps (aunque hay implementaciones de 155 Mbps), y *ATM* a más de 45 Mbps (aunque hay implementaciones de relativa baja velocidad).

Fue desarrollado por *Bell Communications Research* y su uso como red pública para intercambio de información ha tenido menos éxito que *Frame Relay* debido a que las empresas que ofrecen el servicio son pocas y al alto precio de sus equipos y de las instalaciones necesarias para su utilización.

En Europa se cuenta con un servicio idéntico a *SMDS* conocido como *CBDS (Connectionless Broadband Data Service)* que fue normalizado por el *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)*.

OTROS TIPOS DE CONEXIÓN

T1

Una línea *T1* se utiliza en comunicaciones punto a punto a grandes distancias en **EE.UU.**, Australia y países del Pacífico.

Contiene 24 canales de 64 Kbps, con lo que proporciona un ancho de banda de 1.5 Mbps. Su mayor inconveniente es el precio mensual de conexión.

La utilizan principalmente los proveedores de acceso a *Internet*.

E1

Una línea *E1* se utiliza en comunicaciones punto a punto a grandes distancias en Europa y América del Sur.

Contiene 32 canales de 64 *Kbps*, con lo que proporciona un ancho de banda de 2.048 *Kbps*. Al igual que la línea *T1*, su mayor inconveniente es el precio mensual de conexión.

La utilizan principalmente los proveedores de acceso a *Internet*.

T1 fraccional

Una *T1* fraccional (*FT1*) es un subcanal de una línea *T1* completa.

Puede contratarse desde un canal de 64 *Kbps* hasta una línea completa *T1* (existen paquetes de 6, 8 y 12 canales de 64 *Kbps*).

T2

Una línea *T2* equivale a 4 líneas *T1*, o lo que es lo mismo, a 96 canales de 64 *Kbps*.

No está disponible de forma comercial y únicamente la utilizan las redes de las compañías telefónicas.

T3

Una línea *T3* equivale a 28 líneas *T1*, o lo que es lo mismo, a 672 canales de 64 *Kbps*.

Fue usada originalmente para transmisión entre estaciones microondas, estando actualmente disponible para transmisión sobre cable de fibra óptica.

Es la columna vertebral de *Internet*.

T4

Una línea *T4* equivale a 168 líneas *T1*, o lo que es lo mismo, a 4.032 canales de 64 *Kbps*.