

---

# REDES DE ALTA VELOCIDAD

*Antonio Roberto Foti\**

**En este artículo se verán los siguientes temas: Modelo de referencia; Conmutación de paquetes; Repetición de cuadros o Frame Relay; X25 vs. Frame Relay; Implementación; Modo de transferencia asincrónica; Tipología ATM e interfaces; Arquitectura y niveles ATM; Red digital de servicios (RDSI - ISDN) y Arquitectura, interfaces y señalización, con un capítulo final de conclusiones.**

## **1** Fundamentos

En su significado más genérico, el concepto de “red” involucra a entidades o **nodos** interconectados entre sí por **enlaces** para el transporte de la información proveniente de usuarios que poseen **terminales** adecuados a tales fines y a su vez conectados a nodos periféricos. Los terminales de usuario cumplen la función de **intercambio** entre los reque-

---

\* Director del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Universidad Nacional de La Matanza.

rimientos de los usuarios y las características de la red, así como los nodos (punto de la red donde convergen dos o más enlaces) deben poseer la capacidad de **encaminar** la información entre usuarios que así lo requieran.

En el caso de “redes de computadores” los terminales son Equipos Terminales de Datos (ETD), a los cuales se les requiere la función adicional de gestionar las líneas de comunicaciones. A su vez, los nodos resultan computadores dedicados en cuya memoria tienen cargados programas de comunicaciones que pueden interpretar los requerimientos de comunicación del usuario para encaminar la información del usuario (en general fraccionada en unidades menores llamadas tramas), hacia el destino deseado por la ruta más adecuada (que puede no resultar la más corta), cumpliendo una función conocida en la jerga como conmutación.

Los requerimientos de contar con redes para el transporte de la información surgen históricamente por la no necesaria coincidencia geográfica de la generación, recolección, procesamiento y almacenamiento de dicha información. Piénsese en una planta fabril donde diferentes subsistemas de ensamble automático deban actuar integradamente, una compañía aérea para la venta de pasajes, una entidad bancaria con sus diferentes sucursales en las cuales los clientes pueden operar las cuentas varias, etcétera.

De todo ello surge que el objetivo fundacional de las redes es compartir recursos lógicos (datos) y físicos (equipamiento escaso). Asimismo, no debe subestimarse el aumento de confiabilidad que es posible lograr al disponerse de diferente unidad de procesamiento y almacenamiento: al fallar alguna de ellas se posee alternativa de rápido remplazo. También puede lograrse ahorro económico, si se logra combinar máquinas de diferente porte, según lo requiera cada localización, para que cooperen entre sí en el procesamiento y almacenamiento (modelo cliente-servidor).

Para su mejor conocimiento, estas redes suelen clasificarse según su área de cobertura, su topología, su modo de control, etcétera.

En cuanto a topología o forma de interconectar los terminales, cabe destacar que pueden ser con líneas dedicadas, donde la asignación entre dos terminales es fija sin variar en el tiempo (siempre conecta a los mismos extremos de la red), o bien pueden ser conmutadas, a través de nodos selectores de ruta a pedido de un terminal y que permanece conectado sólo el tiempo requerido por el usuario. La ventaja de un sistema conmutado es que el uso se realiza bajo demanda, es decir, solamente cuando hay necesidad real de transmitir.

### 1.1. Modelo de referencia

Con el objeto de poder conectar máquinas heterogéneas sobre una red resultó necesario definir los “Sistemas virtuales”. Estos son un modelo

abstracto, una combinación de software y hardware que forma un sistema con apariencia física y lógica. Si todos los computadores se hacen compatibles con un sistema virtual, todos podrán trabajar con todos.

La estructura de un sistema virtual, se basa en el establecimiento organizado de bloques funcionales en las estructuras reales y entre las cuales se prevea la necesidad de una conversación. Todo ello dio lugar a una arquitectura estratificada en capas jerárquicas, lo cual implica que cada una de ellas tiene comunicación con la superior e inferior, ofreciéndole servicios a la primera y recibiendo los de la segunda. Cada capa o nivel es un conjunto coherente de funciones, de cuya integración resulta la capacidad de prestar el servicio designado a cada nivel.

Es aconsejable en estos modelos considerar que:

- los límites de las capas deberán seleccionarse tomando en cuenta la minimización de flujo de información entre ellas
- el número de capas deberá ser lo suficiente para que funciones muy diferentes no deban integrarse en la misma capa. Por otro lado, deberá ser lo suficientemente pequeño para que su arquitectura sea clara, concisa y ágil.

De la misma forma en que dos o más personas siguen un conjunto de reglas cuando intentan ponerse en comunicación, se hizo necesario definir las leyes que gobiernen la comunicación entre computadores o, más genéricamente, las partes que componen los sistemas. Dichas reglas estructuran el diálogo entre máquinas.

Surgen así dos conceptos complementarios que sirven para conectar funciones. Se entenderá por **protocolo** al conjunto de normas que gobiernan la interconexión de dos procesos o dispositivos de naturaleza o funciones similares, mientras que la **interfaz** gobierna la comunicación entre dos procesos o dispositivos de naturaleza diferente. De esta manera, dos niveles homólogos dialogan por medio de protocolos entre pares, mientras que dos niveles vecinos lo realizarán a través de interfaces de servicio. Suele reforzarse esta diferenciación expresando que los protocolos establecen una vinculación en el mismo nivel, mientras la interfaz representa una relación jerárquica.

Esto puede esquematizarse como en el gráfico 1.1.

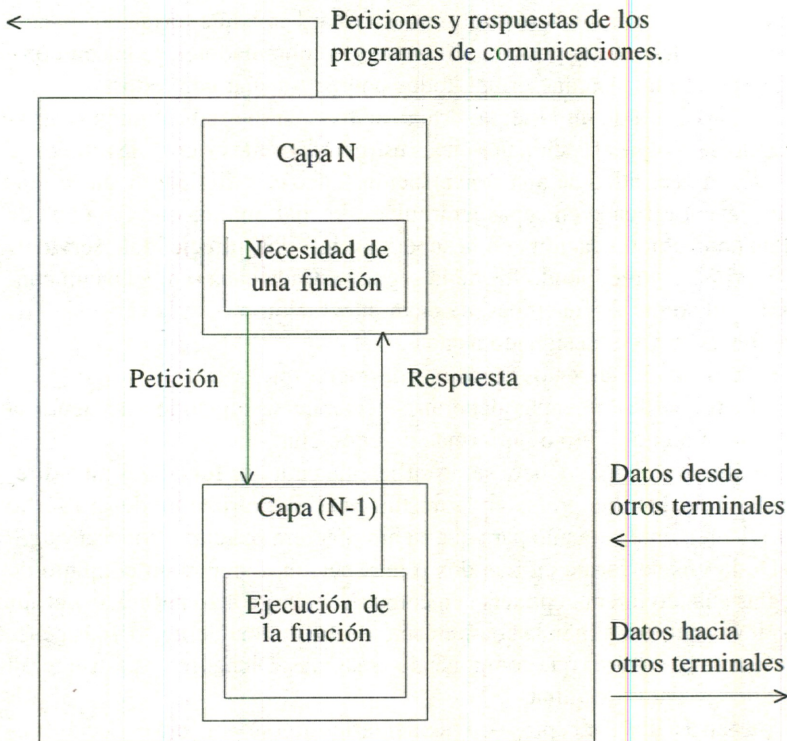


Fig. 1.1.

Teniendo en cuenta los conceptos expuestos, surge un Modelo de Arquitectura de Referencia para interconexión de sistema publicado en 1980 por la International Standard Organization (ISO). Consta de siete niveles.

Obsérvese que la comunicación entre dos máquinas se realiza a nivel físico, que es el nivel más bajo de la arquitectura; así, la comunicación entre niveles homólogos debe preservarse en el transcurso hasta llegar al nivel físico y viceversa.

La comunicación entre niveles homólogos de dos máquinas a través de los diferentes niveles de cada una de ellas, recurriendo al “encapsulado” de la información proveniente del nivel precedente, por medio de cabeceras y colas (de ser necesario), las cuales contienen información (adicional a la del usuario) sobre las tareas que debe realizar el nivel homólogo correspondiente en la máquina receptora.

Intercalados en el vínculo físico que soporta el tráfico de bits por señales eléctricas u ópticas, pueden existir nodos intermedios, que sólo requieren de tres niveles para enrutar los mensajes.

Todo lo dicho puede esquematizarse en la Figura 1.2.

Modelo de referencia OSI

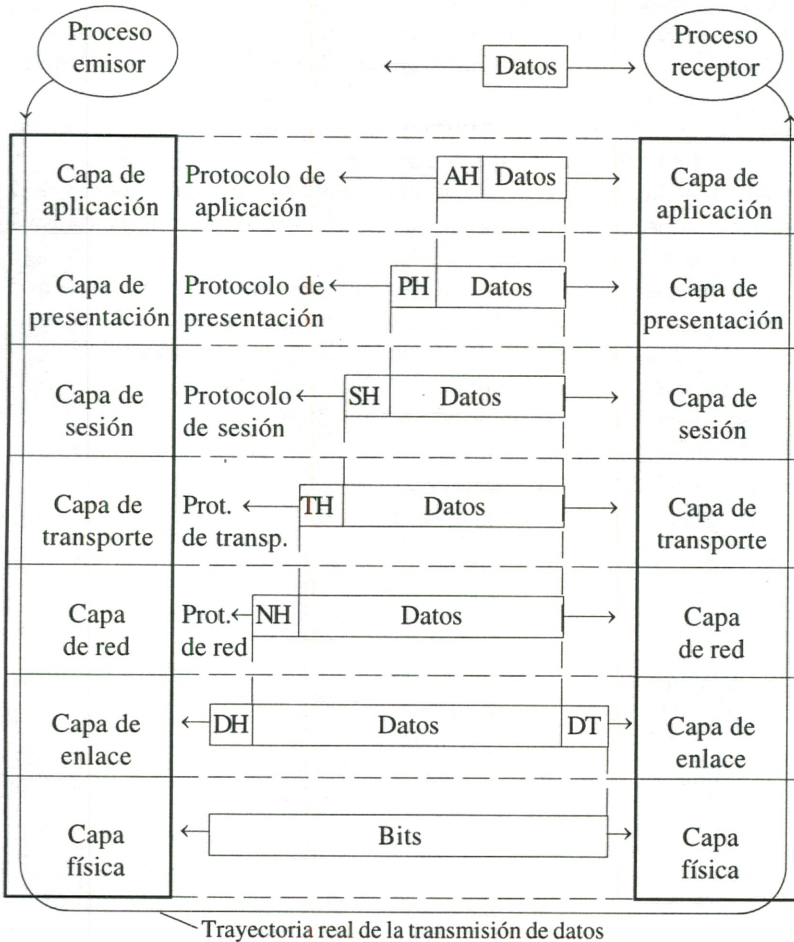


Fig. 1.2. Ejemplo de utilización del modelo OSI. Algunas cabeceras pueden ser nulas (Fuente: H.C.Folts. Utilizada con su permiso)

Las funciones de cada capa pueden resumirse como:

- Capa física: establecimiento, mantenimiento y finalización de una conexión, así como la transmisión de los bits sobre el medio físico.
- Capa de enlace: transferencia de datos entre sistemas conectados a través del medio físico, proveyéndole detección de errores y control de flujo.
- Capa de red: proporciona el enrutamiento y/o retransmisión a través de nodos adyacentes en dirección al nodo de destino. Tareas de contabilidad de paquetes, así como control de errores y flujo.

- Capa de transporte: provee una transferencia de datos, confiable extremo a extremo, mediante control de flujo y errores.
- Capa de sesión: establece la conexión lógica, asignando los recursos correspondientes en cada sistema, independiente del transporte Permite sincronización.
- Capa de presentación: permite transformación del código y formato de los datos. Se ocupa de los aspectos de sintaxis y semántica.
- Capa de aplicación: resuelve problemas diversos de interacción con el usuario final. Aplicaciones normalizadas, como el correo X.400 o transferencia de archivos por FTAM.

A este modelo, con el discurrir del tiempo, se le objetó el hecho de que varios de sus niveles realizaban tareas redundantes (por ejemplo, control de errores, de flujo, etc). Ello se traducía en demoras excesivas.

Cabe destacar que este modelo tiene sus predecesores, de los cuales sacó experiencia, como por ejemplo el SNA de IBM/DECNET de Digital o el TCP/IP, así como arquitecturas sucesoras, dado que surgieron a partir de ella, como la X.25, la 802.X del IEEE o la ISDN.

Este concepto lo resumimos en la Figura 1.3.

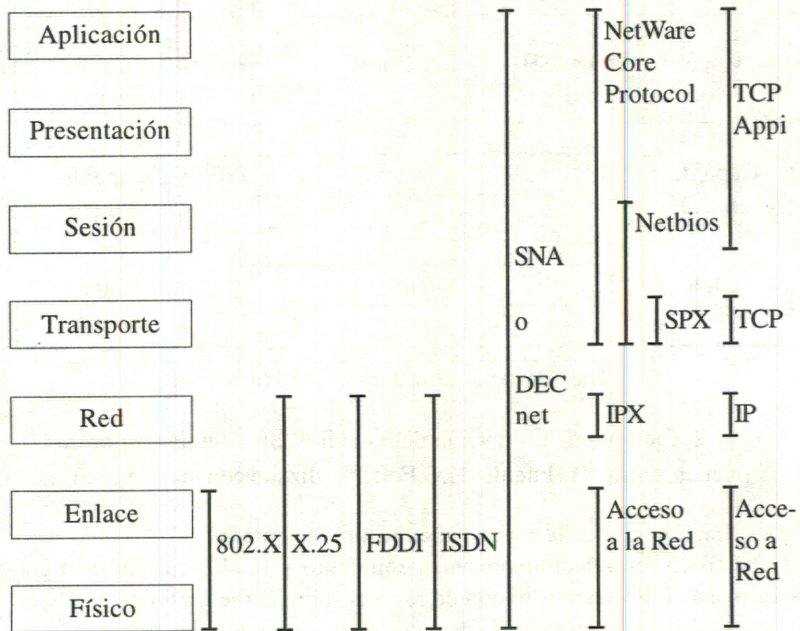


Fig. 1.3.

### 1.2. Conmutación de paquetes

La conmutación de paquetes está fundada en la recomendación X.25 del

CCITT (1976/1980), que es la interfaz que regula el intercambio entre un Equipo Terminal de Datos (ETD), sistema informático funcionando en modo paquete y el Equipo de Terminación de Circuito de Datos, en una red de ese tipo (ETCD o DCE). Fue desarrollada en tres niveles, cuyas funciones son compatibles y coinciden con el Modelo ISO/OSI.

Merece ampliación lo que sucede en el nivel 3, de red o de paquete, que debe ejecutar cuatro funciones: establecimiento y desconexión de circuitos virtuales, transferencia de datos sobre ellos y de reinicio en caso de cortes. Cada función dará lugar a un conjunto de paquetes. También realiza control de flujo y control de congestión, así como contabilidad de paquetes para su facturación.

Dentro de este nivel, aparecen:

- **Circuito Virtual (CV):** Medio de comunicación que permite el intercambio bidireccional simultáneo de secuencias de bloques de información con preservación del orden de emisión. Realiza el control de flujo en cada sentido de transmisión, de manera independiente para cada circuito virtual. Los elementos y procedimientos físicos que se emplean para el transporte entre extremos es transparente para los usuarios. Los CV pueden ser **permanentes** (establecidos de manera fija entre dos abonados, al igual que un enlace dedicado) o **conmutados** (establecido y liberado por iniciativa de uno de los corresponsales).
- **Canal Lógico (CL):** El intercambio de paquetes entre el ETD y el ETCD se realiza a través de una conexión lógica, proporcionado por una multiplexación temporal entre ambos equipos, de forma que entre ellos pueden existir uno o más “canales lógicos” con la posibilidad de ser utilizados independientemente uno de otro, dando la sensación para el usuario de poseer varias líneas de acceso a la red, con el consecuente establecimiento de diferentes enlaces simultáneos con distintos abonados. Dentro de la red, esto se maneja mediante el establecimiento de un circuito virtual, el cual exige la utilización de (por lo menos) dos canales lógicos: uno por el que accede a la red, el ETD que origina la llamada, y otro por el que recibe la llamada, el ETD destinatario.

En la figura 1.4. es factible apreciar cómo se genera un “tubo” como producto del diálogo entre los terminales modo paquete y sus respectivos nodos, a los cuales se encuentran conectados, así como entre los nodos internos de la red, siempre a nivel red o paquete. Dentro de este tubo denominado circuito virtual, viajan los paquetes pertinentes respetando el orden.

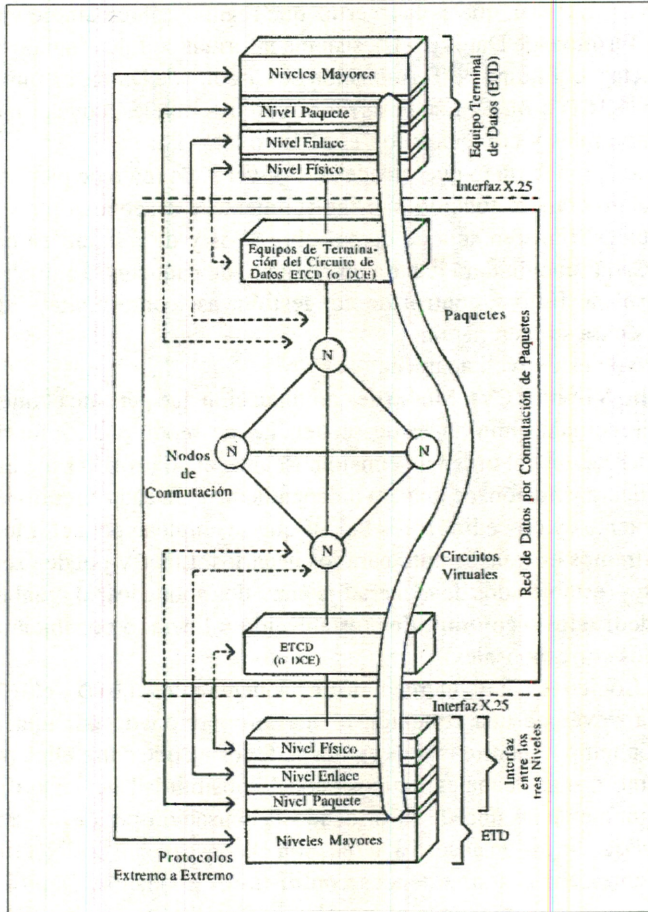


Fig. 1.4. Los tres niveles de la X.25 y circuitos virtuales

Se observa que el circuito virtual se arma en función de un conjunto de canales lógicos, como se aprecia en la Figura 1.5.

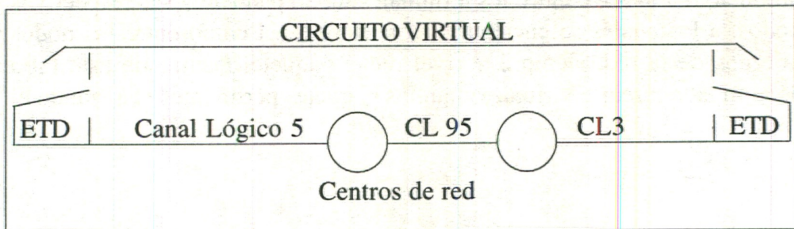


Fig. 1.5



Por último, apreciamos en la Figura 1.6 la estructura de un paquete tipo (de datos, en este ejemplo) como un apilamiento de octetos. Es ilustrativo destacar la cabecera y cola de la trampa a nivel 2 del protocolo HDLC, así como la cabecera de nivel 3 del paquete con el número (12 bits) de canal lógico que corresponde a esa comunicación.

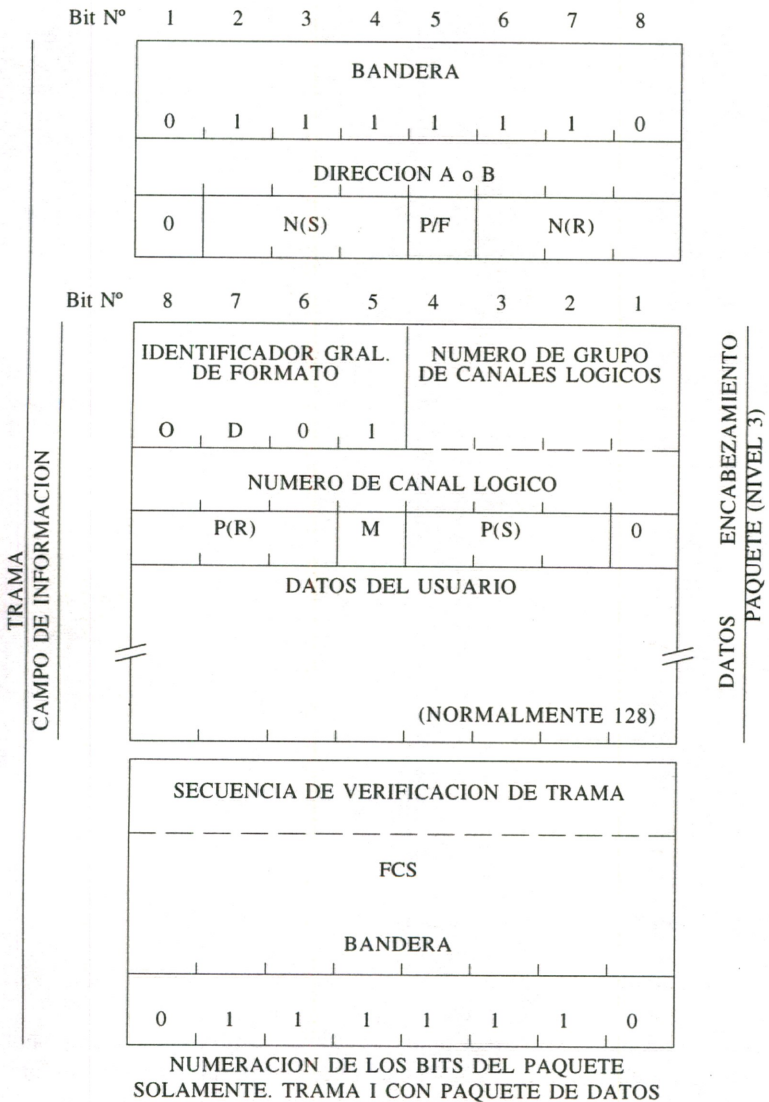


Fig. 1.6

Para conectar a la red pública para transmisión de datos por conmutación de paquete (X.25) ETDs que no funcionan bajo esa norma, existen conversores de protocolos empaquetadores-desempaquetadores (PAD o DEP). Ello se encuentra regulado en las normas X.3, X.28, X.29, X.32 y X.75, algunas de las cuales pueden apreciarse en la Figura 1.5.

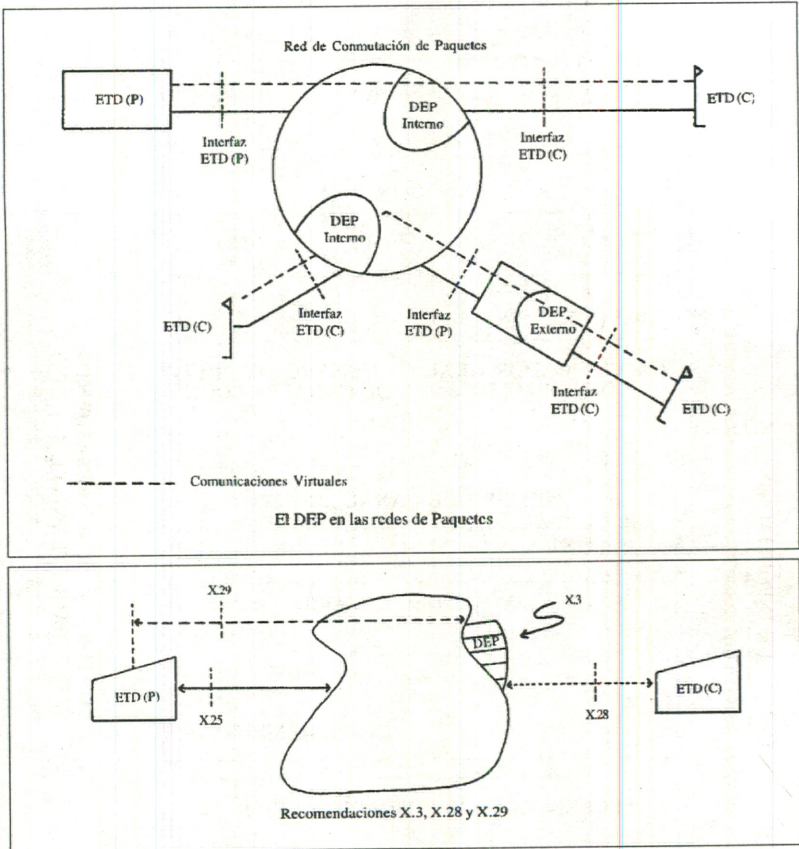


Fig.1.7

## 2. Repetición de cuadros o Frame Relay

### 2.1. Antecedentes

Así las cosas, nos encontramos con que:

- las redes locales (LAN) están funcionando con decenas de megabits por segundo y las redes amplias (WAN), para interconectarlas en forma remota, trabajan a decenas de kilobits por segundo. Obviamente, este cuello de botella empuja hacia velocidades más altas a las WAN.
- los medios de enlace fueron mejorando con respecto a la tasa de error,

hasta el caso de la fibra óptica que haría innecesario el nivel 2 para control de errores.

c) la posibilidad de disponer terminales de usuario con mayor grado de inteligencia que se ocupen del reconocimiento de errores en niveles superiores, descargando los nodos intermedios de esas tareas.

Se empuja de esta manera a una evolución de la tecnología X.25 hacia la Frame Relay (FR), que especifica la interfaz entre el ETDy la red, estando desarrollada para proveer alta capacidad, bajo over head, reducidos retardos y transferencia de datos confiable, a través de redes digitales inteligentes.

## 2.2. Frame Relay normativa

Las especificaciones de esta interfaz se encuentran en la recomendación I.122 del CCITT de 1988. Su aplicación típica se encuentra en la interconexión de LANs, brindando enlaces desde 56 Kbps/64 Kbps hasta 1.544 Mbps (T1)/2Mbps (E1). Ello incrementa la eficiencia de la utilización del ancho de banda (ancho de banda bajo demanda) y los equipamientos de comunicaciones resultan de menor costo, alternativa atractiva en la implementación de redes.

Se vería como en la Figura 2.1.

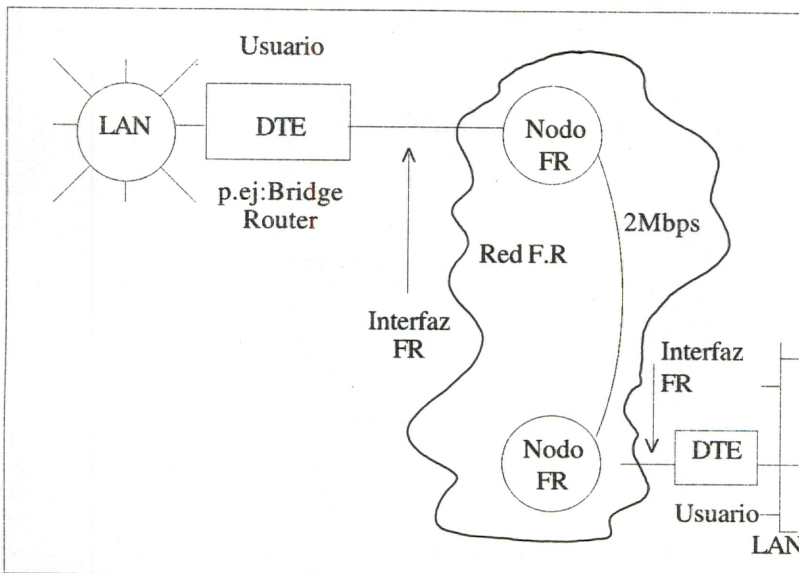


Fig. 2.1.

Cuadro del FR:

|                  |                |                         |     |                  |
|------------------|----------------|-------------------------|-----|------------------|
| F<br>L<br>A<br>G | Encabezamiento | Campo de<br>Información | CRC | F<br>L<br>A<br>G |
|------------------|----------------|-------------------------|-----|------------------|

Que también puede verse más en detalle, en un gráfico por octetos, como sigue:

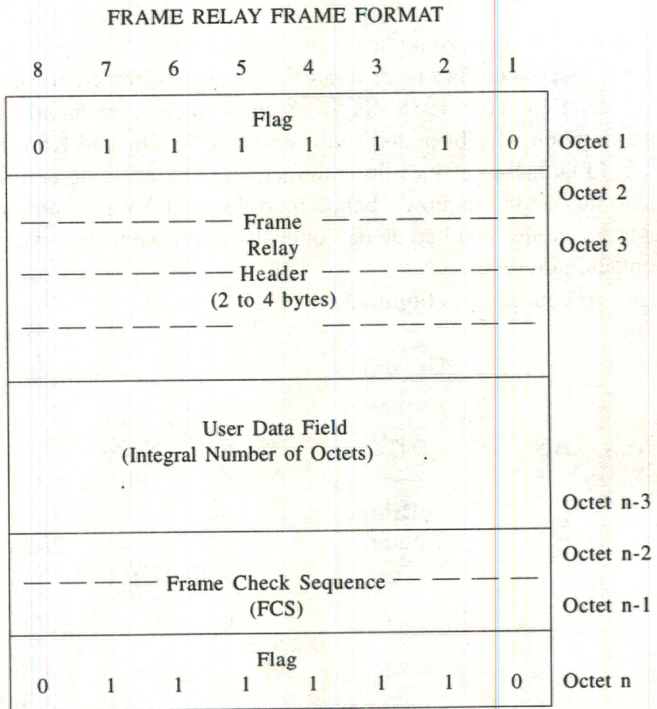
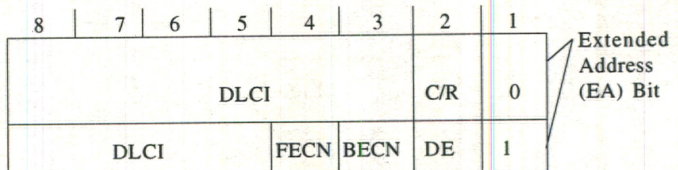


Fig.2.2.

Cuya cabecera en detalle aparece así:



DLCI: Data Link Corrector Identifier.

FECN: Forward Explicit Congestion Notificacion Bit.

BECN: Backward Explicit Congestion Bit.

C/R: Comand/Respuest Indication Bit.

DE: Discard Eligibility Bit.

## 2.2. X.25 vs. Frame Relay

Proveniente el FR de una evolución tecnológica de la X.25, admite cuadros de longitud variable, lo que implica un retardo variable en el tráfico de la red. Esto lo hace inadecuado para tráficos sensibles al retardo, como la voz o video comprimido.

Típicamente, una red X.25 introduce retardos de 200 ms (extremo a extremo), mientras que FR reduce este retardo a cerca de 20 ms, pudiendo así mejorar el desempeño de las redes existentes.

Para obtener el máximo beneficio de la tecnología FR, se recomienda utilizar un sistema E1/T1 dedicado entre los dos sistemas terminales o nodos. De esta manera se logra superar el límite de 48 Kbps de la X.25, ofreciéndose accesos en FR entre 64 Kbps y 1.544 Mbps (T1).

Asimismo, es un servicio de red de datos multiplexada que soporta equipamientos de usuarios tales como bridges, routes, gateways y multiplexores E1/T1. Resulta una conexión, actualmente, punto a punto con servicio orientado a conexión, trabajando con Circuitos Virtuales Permanentes. Es decir, una conexión o llamada entre origen y destino es fija antes que establecida llamada por llamada. De todas maneras, la implementación de los circuitos conmutados no es lejana.

Para maximizar aun más los beneficios de la tecnología FR se recomienda la inclusión de la conmutación de paquetes rápidos que utilizan técnicas de Multiplexación Estadística, la cual permite una aplicación más racional y eficiente del ancho de banda, no asignando recursos a aquellos usuarios que no lo requieren. Recordemos que en general los datos se transmiten a intervalos intermitentes, más bien en ráfagas, en especial en LAN.

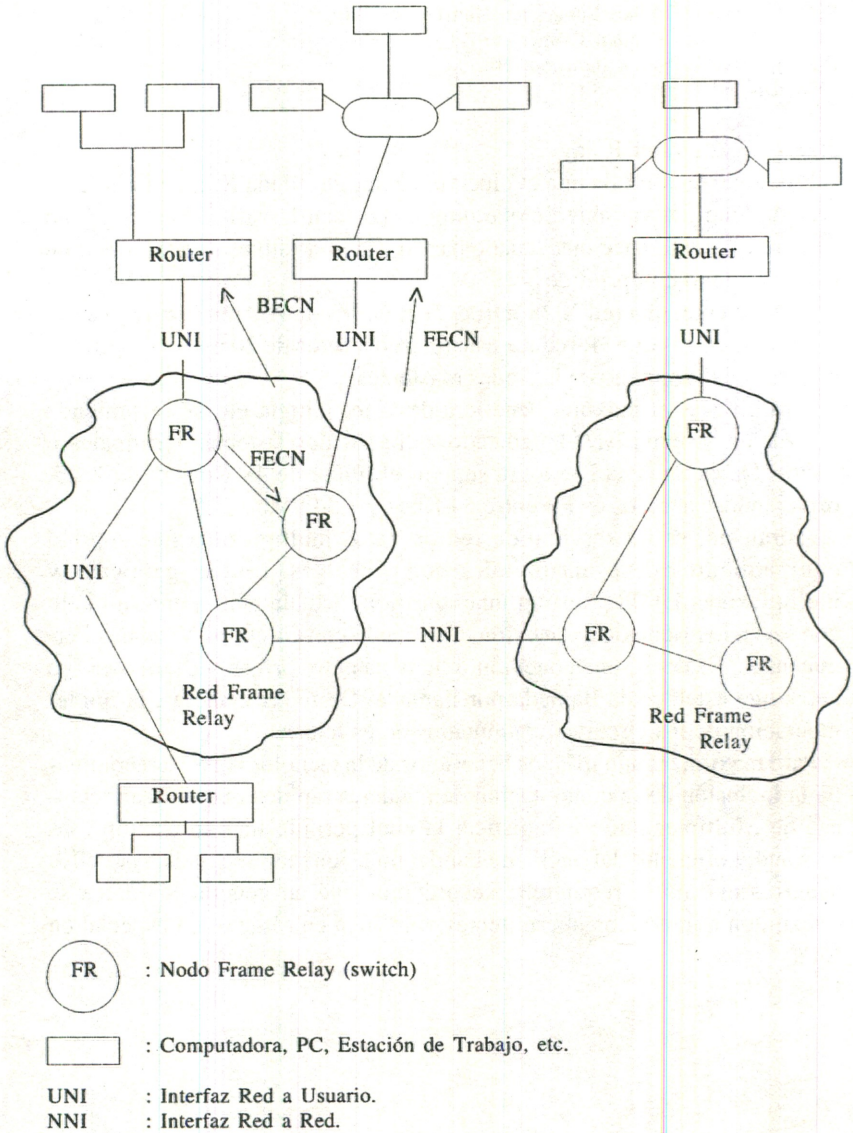


Fig 2.3. Típica topología Frame Relay.  
Bits de notificación de congestión

Obsérvese que la figura 2.2. posee un campo CRC mediante el cual la técnica CRC reconoce los errores. Pero ante ellos, lo que hace directamente es descartar o eliminar los datos con errores así como los paquetes en exceso que provoquen congestión en la red. Para esto último, informa al nodo siguiente

de esta situación con el bit de Notación Explícita Hacia Adelante de Congestión (FECN) y con el bit de Notificación Explícita Hacia Atrás de Congestión (BECN). Lo descripto entre nodos no es válido para la conexión sobre la interfaz de la red y el dispositivo del usuario, donde la norma ANSI utiliza el campo DLCI con todos unos (1023) en los diez bits. Véase Figura 2.3.

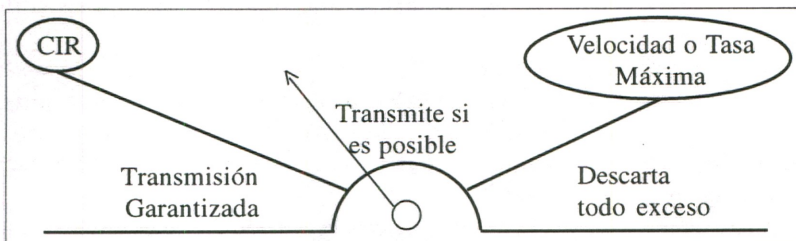
Queda claro entonces que la verificación del número de secuencia y las retransmisiones debidas a los errores no ocurren nunca a lo largo del tránsito por la red, sino que simplemente se descartan.

Cabe destacar la presencia del Bit de Descarte (DE), el cual indica que esa trama o frame podría ser descartada en preferencia a otros frames en los cuales este bit no está activado, cuando se hace necesario descartar tramas.

La capacidad del DE hace posible para el usuario temporariamente enviar más tramas que las permitidas en promedio. En este caso, el usuario pone el bit DE a uno en las tramas excedentes. La red transmitirá estos frames si tiene la capacidad para hacerlo.

El bit DE puede ser activado también por el “manejador” de tramas (handler frames), que es el encargado, en cada nodo, del encaminamiento de las diferentes tramas de acuerdo con los valores de DLCI, entre otras funciones. Para el análisis que nos ocupa, la red puede monitorear el flujo de ramas desde el usuario y utilizar el bit DE para proteger a la red con la cual el usuario está directamente conectado: decide que la entrada es potencialmente excesiva, pone el bit DE activado (on) en cada trama y luego los deja avanzar dentro de la red.

El bit DE puede ser utilizado de esta manera para proporcionar una guía para la decisión de descarte y al mismo tiempo como una herramienta para proveer un nivel de servicio garantizado. Esta herramienta puede ser usada sobre una conexión lógica para asegurar que usuarios de ellos necesitan sin penalizar a aquellos usuarios de más bajo tráfico. El mecanismo funciona como sigue: cada usuario puede negociar una Tasa de Información Convenida (CIR: Committed Information Rate) en bits por segundo, en el momento de conectarse. Dicho valor representa el tráfico estimado como “normal” durante el período de actividad, que es el valor al cual el operador de la red compromete a entregar datos a esa velocidad o tasa libre de errores. El manejador de tramas al cual la estación del usuario se encuentra vinculado realiza entonces una función de medición.



Si el usuario está enviando datos a una tasa menor al CIR, el ingreso al manejador no altera el bit DE. Si la velocidad excede al CIR, el ingreso al manejador activará el bit DE sobre las tramas excedentes y los introduce en la red; tales tramas pueden seguir adelante o pueden ser descartadas si las condiciones de congestión en la red así lo exigen. Finalmente, una velocidad máxima es definida de manera tal que cualquier trama sobre ese máximo será descartada a la entrada del manejador de tramas.

Este procedimiento, en teoría, podría ser ejercido sobre una base continua. En la práctica, el manejador de tramas mide tráfico sobre cada conexión lógica por un intervalo de tiempo  $T_c$  que es puesto por la red. De acuerdo con esto, dos parámetros adicionales pueden ser negociados. El Tamaño de Ráfaga Convenido (Committed Burst Size,  $B_c$ ), que es la cantidad máxima de tramas (datos) acordada que el usuario puede ofrecer a la red durante el intervalo de tiempo  $T_c$ . El Tamaño de Ráfaga en Exceso (Excess Burst Size,  $B_e$ ), es la máxima cantidad de datos que un usuario puede exceder  $B_c$  durante un intervalo  $T_c$ ; estos datos ( $B_e$ ) son distribuidos con una probabilidad menor que  $B_c$ .

El Intervalo de Medición de Velocidad Convenido (Committed Rate Measurement Interval,  $T_c$ ), es el intervalo de tiempo durante el cual el usuario tiene permitido enviar solamente la cantidad de datos  $B_c$  y la cantidad  $B_e$  de datos en exceso.

Estos parámetros se definen por suscripción con el proveedor del servicio o vía de señalización. Un usuario puede optimizar cada conexión virtual para adecuarla al tráfico a ser transportado, eligiendo valores adecuados de CIR y de  $B_e$ .

Adicionalmente, el usuario puede activar el bit DE de acuerdo con la relativa importancia de la trama en comparación con otras.

### 2.3. Consideraciones en la implementación

La tecnología FR ofrecida por los vendedores puede variar de acuerdo con las características soportadas. Es importante atender, por ejemplo, que para una gran instalación basada en sistemas TCP/IP no requerirá control de congestión. Sin embargo, para usuarios finales implementados sobre el protocolo IPX de Novell, puede requerirse control de congestión sobre la repetición de cuadros, dada la naturaleza de ráfagas de tráfico LAN, el cual puede posiblemente desbordar el almacenamiento (buffers) del dispositivo receptor.

Por otro lado, pueden aparecer complejidades adicionales de administración de los enlaces T1, utilizando FR, dado que el proveedor de multiplexores puede utilizar la técnica CMIP o algún otro standard propietario, mientras la administración de routers y bridges de la red pueden utilizar soluciones basadas en SNMP.

Puede también darse el caso de que con la utilización de multiplexores



que suministren ancho de banda bajo demanda conectemos routers que no lo hagan así, con lo cual el intercambio de información sobre congestión interna entre ambos dispositivos resulta insoluble.

### 3. Modo de Transferencia Asíncrona (ATM)

#### 3.1. Introducción

Los modos de transferencia de información utilizados en comunicaciones digitales suelen diferenciarse en:

- Sincrónico (STM); cuando existe un sincronismo entre el canal y el recurso asignado, en este caso por la ranura de tiempo asignado constante, independientemente de la utilización del canal. Es decir, a pesar de que un usuario tenga “períodos de silencio”, el canal no es reasignado para ningún otro propósito, con la consecuente ineficiencia.
- Asíncrono (ATM); utiliza el recurso físico exclusivamente cuando le es necesario transmitir (bajo demanda) información. Ello permite que un canal físico sea compartido por varios canales lógicos (comunicaciones) mediante multiplexación temporal, para lo cual cada segmento de la información seccionada debe contener una etiqueta que permita identificar a qué conexión pertenece cada uno de ellos, ejecutando el ruteo establecido. El caso a que nos vamos a referir utiliza celdas pequeñas, de longitud fija de 48 octetos de información (Payload Information) y 5 octetos de encabezamiento (Header). Dichas celdas se llenan sólo de acuerdo con la demanda real.

La integridad de la secuencia de las celdas se preserva en dicho canal.

El ATM proporciona operaciones de detección de errores limitadas, sin servicios de retransmisión y con su pequeña cabecera se realizan unas pocas operaciones de encaminamiento.

La intención de esta característica es implementar redes que soporten velocidades de transferencia multimegabit. CCITT, ANSI y el Forum ATM han seleccionado al ATM para ser parte de RDSI de Banda Ancha (RDSI-BA). El ATM reside en los primeros niveles del modelo estratificado, comenzando por el nivel físico que no posee un protocolo específico, pudiendo ser implementado con SONET/SDH, D53, FDDI, CEPTA, entre otros. Para grandes redes públicas, es preferido el SONET/SDH.

#### 3.2. Topología ATM e interfaces

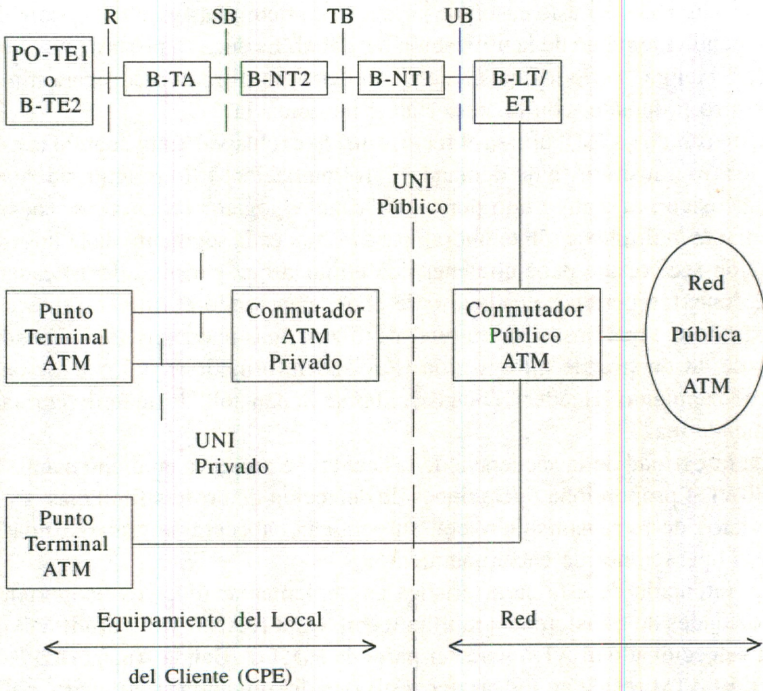
Antes de examinar la topología ATM se requiere precisar algunas definiciones. En el estado actual, ATM es parte de la RDSI-BA, la cual es diseñada para soportar redes privadas y públicas. Consecuentemente, ATM aparece en dos formas para la interfaz usuario red (UNI):

- Una UNI pública que define la interfaz entre un servicio público con red ATM y un conmutador privado ATM.

- Una UNI privada que define una interfaz ATM con un usuario final y un conmutador ATM privado.

Si bien la distinción puede parecer artificial, es importante debido a que cada interfaz usará comúnmente diferente medio físico y con una expansión geográfica diferente.

Veamos una topología ATM, la cual representa más bien una visión conceptual, como sería a partir de las normas del Forum ATM. De todas maneras, en esta etapa embrionaria, no puede hablarse de una configuración "típica".



Ante una nueva mirada encontramos que la topología e interfaces ATM están organizadas alrededor del modelo RDSI. La UNI puede expandirse pública o privadamente a través de las interfaces Sb, Tr y Ub (b significa banda ancha). Puede aparecer la necesidad de adaptadores internos, que involucran dispositivos de usuarios (B-TE1 o B-TE2), conectados a través del punto de referencia R al adaptador B-TA; B-NT2 y B-NT15 son los terminadores de red considerados dentro del CPE. Por simplificación del gráfico se muestra un lado de la red, siendo el otro lado una imagen espejada.

Otra interfaz de importancia práctica para el usuario es la DXI (Interfaz para Intercambio de Datos) especificada para conectar los enrutadores con capacidad ATM y las DSUs (Unidades para Servicios de Datos), donde

estas últimas se encargan de transformar los paquetes de LANs en celdas. Para el caso, un enrutador o hasta un hub que soporte DXI por software, formatea cada paquete de LAN, de modo que un dispositivo como una DSU ATM sepa dónde encontrar la información de direccionamiento y cómo dividir el paquete en celdas. En realidad este proceso de segmentación puede aplicarse a cualquier clase de tráfico, incluyendo los paquetes de LAN, voz digitalizada o video.

Pasando ahora a las interfaces propias -internas o de interconexión- de las redes ATM, tenemos la NNI (Interfaz Red a Red). La NNI se usa para describir la interfaz entre los conmutadores intermedios de una red ATM, tanto pública como privada.

Finalmente, también mencionaremos la B-ICI (Interfaz de Banda Ancha para Intercarriers) para la interconexión de redes ATM públicas de diferentes proveedores.

En la actualidad, como hemos visto, hay especificaciones estándares referidas a las UNIs privadas y públicas, así como para DXI y B-ICI. No ocurre lo mismo con la NNI, de modo que la mayoría de las redes públicas y privadas usan interfaces propietarias en los conmutadores que las componen.

El tráfico de usuario sobre la UNI es identificado por dos valores en la cabecera de la celda:

- a) el identificador de canal virtual (VCI),
- b) el identificador de trayecto virtual (VPI).

Estos campos constituyen el identificador de Circuito Virtual. Los usuarios asignan estos valores cuando:

- el usuario entra en una sesión con la red en una conexión bajo demanda, o
- el usuario es provisto a la red como un Circuito Virtual Permanente (PVC).

Los servicios ATM pueden ser obtenidos como Circuitos Virtuales Permanentes o Conmutados (CVC). Quizás un término mejor para describir la visión del CCITT de los PVC es el de tecnología de Circuitos Virtuales Semipermanentes (SPVC).

Esto es, los usuarios de dos puntos terminales conectados son preaprovisionados en la red, y entonces dada una sesión (conexión), si es requerida por parte del usuario. Por otra parte, el Forum ATM y el CCITT han publicado especificaciones para conexiones ATM bajo demanda o SVC.

Los VPIs y VCIs son también usados en las redes ATM. Son examinados por los conmutadores de manera de determinar cómo enrutar la celda a través de la red. Las etiquetas VPI/VCI son similares a los Identificadores de Conexión del Enlace de Datos (DLCI) usados en Frame Relay. Estos conceptos se profundizan en el próximo punto.

### 3.3. Arquitectura y niveles ATM

En la Figura 3.3. puede verse el modelo de arquitectura en capas que ha

sido definido por el CCITT para su uso en la red RDSI-BA, basada en el uso de ATM. Presenta la complejidad adicional de la partición en tres planos, a saber: 1) el plano de gestión, dedicado a la operación del servicio (que no será detallado), 2) el plano de control, dedicado al establecimiento de comunicaciones, lo que incluye los necesarios protocolos de señalización, y 3) el plano del usuario, que incluye los protocolos necesarios para la transferencia de información de usuario mediante la utilización de ATM.

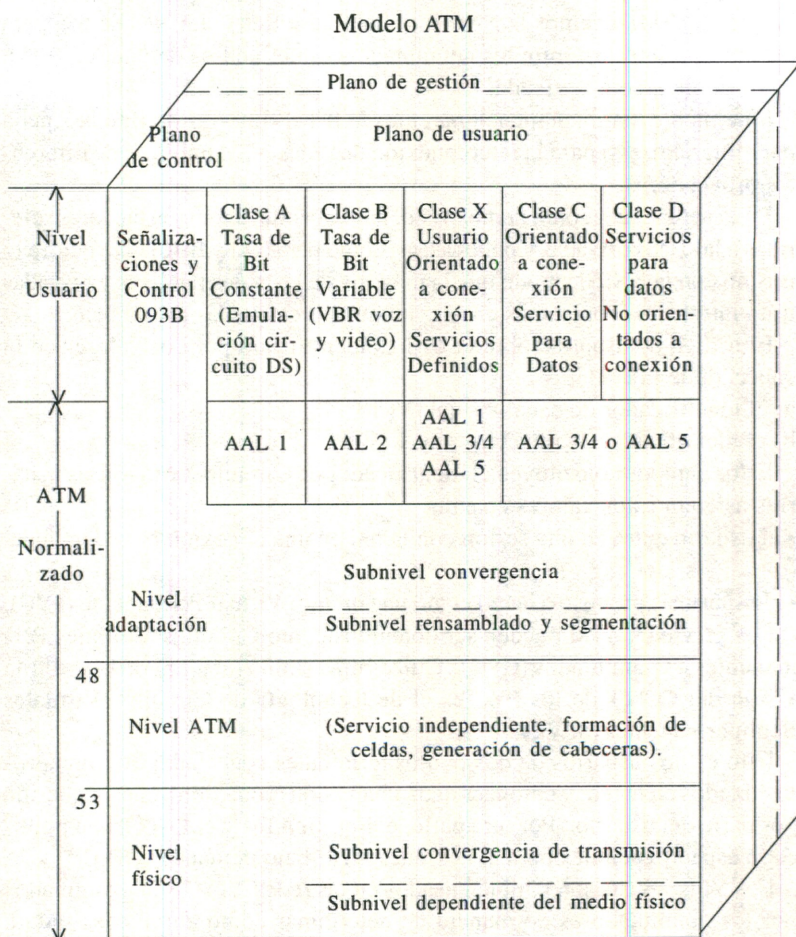


Figura 3.3

El plano de administración o gestión se maneja de acuerdo con el modelo OSI tradicional, mientras que para el de usuario y el de control es similar al de la RDSI, que descubriremos a continuación. Es decir, los niveles o capas pueden cumplir funciones diferentes, según el plano que se considere.

Dentro del plano de usuario se observan tres capas, que son las específicamente definidas para una red ATM: la capa dependiente del medio físico, la capa ATM y la capa de adaptación ATM. No existe una correspondencia exacta entre las capas del modelo ATM y el modelo ISO. Suele considerarse que las tres capas definidas en el modelo ATM corresponden a las capas 1 y parte inferior de la capa 2 del modelo de la ISO.

La capa física está constituida por dos subcapas: medio físico (PM o MF) y convergencia de transmisión (TC o CT). En principio ATM puede ser transmitida sobre cualquier clase de medio de transmisión (fibra óptica, cables coaxiales, microondas, etc.) y sobre cualquier topología (en estrella, en anillo, en forma de bus, etc.).

La subcapa PM realiza funciones dependientes del medio físico, mientras que la subcapa de TC realiza todas las funciones requeridas para transformar un flujo de celdas ATM en un flujo de datos (bits).

Para ser transportadas sobre el medio físico, la capa física de la UNI está descrita por la recomendación I.432 del CCITT, la cual especifica tres tipos de adaptaciones de transmisión: el SHD (Jerarquía Digital Síncronica), el PDH (Jerarquía Digital Plesicrona) y el basado en Celdas.

El Forum ATM ha agregado un cuarto: el FDDI (Interfaz de Datos Distribuidos por Fibra).

La capa ATM realiza funciones de multiplexación y conmutación de celdas y es independiente de la capa física. La función principal de esta capa es el transporte de células ATM a través del examen del circuito virtual que está incluido en la cabecera de la celda ATM. Dicho número es examinado en cada nodo de conmutación que atraviesa la celda en su paso y se utiliza para determinar el camino que tomará cada celda a su salida de ese nodo de conmutación (esto se realiza mediante la inclusión en las centrales de tablas que contienen el/los enlaces de salida correspondientes a cada circuito virtual que pasa a través de ella).

Cada vez que se establece una nueva comunicación a través de la red se determina el camino que van a seguir las celdas correspondientes a esa nueva comunicación, se asigna a ella el número de circuito virtual, se rellenan las tablas anteriormente mencionadas en todos los nodos de conmutación por los que vayan a pasar dichas celdas y finalmente comienza el paso de celdas de esa nueva comunicación, las cuales son automáticamente encaminadas a través de la red mediante su número de circuito virtual (similar conceptualmente a X.25).

Otra función es la detección de errores que hayan afectado a la cabecera del paquete y en su caso la corrección de esos errores, no en los datos que debe realizarse en capas superiores. La capa ATM no garantiza la entrega de todas las celdas que han sido volcadas a la red para su transporte, sino sólo una cierta probabilidad de que la entrega se haga correctamente. Lo que sí garantiza es la secuencialidad, de modo que el orden de entrada de

celdas a la red (que emplean el mismo número de circuito virtual) se observa y no se altera a su salida de ella.

Por último, implementa un control de flujo en la interfaz red-usuario (UNI), que es soportada por los bits de la cabecera.

En cuanto a la capa de Adaptación a ATM (AAL), la información procedente de las capas superiores es convertida en esta capa en celdas ATM. Además realiza las funciones necesarias para adaptar los servicios provistos por la capa ATM a los requerimientos de las capas superiores, sea para aplicaciones con tasa de bit variable (VBR) no orientado a conexión y pasa orientado a conexión, soportando también aplicaciones isocronas (voz, video) con servicios de tasa de bit constante (CBR). Para modernizar esto, se recurren a subniveles, como se observa en la figura 3.4.

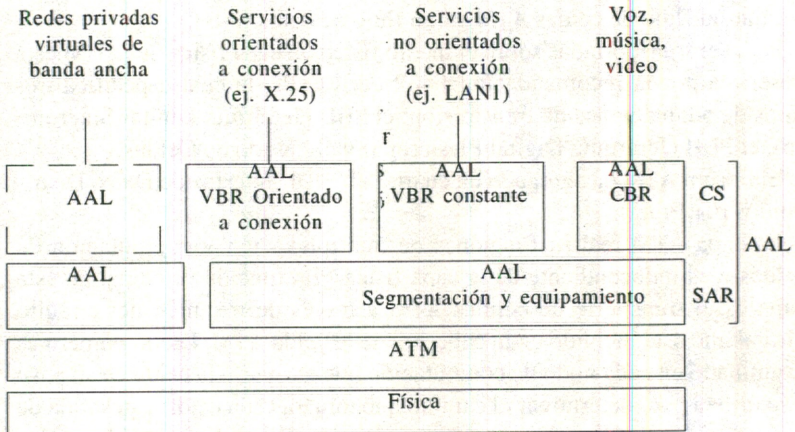


Figura 3.4

El subnivel de segmentación y reagrupamiento (SAR) es el responsable de la segmentación de la información de servicios en celdas ATM y el reagrupamiento de celdas ATM en información de servicios. El subnivel, llamado de Convergencia (CS), brinda funciones que dependen del tipo de tráfico que está siendo procesado, sea éste voz, video, datos, etc. El CCITT ha definido cinco AALs, uno por cada tipo de servicio.

Para obtener estos cinco tipos de clases, los servicios se clasifican según tres parámetros básicos:

1. Tiempo entre fuente y destino.
2. Bit Rate o Tasa bit (velocidad).
3. Modo de conexión.

El CCITT no ha definido todas las combinaciones posibles. A saber:

|                               | Clase A              | Clase B  | Clase X                 | Clase C                 | Clase D |
|-------------------------------|----------------------|----------|-------------------------|-------------------------|---------|
| Tiempo entre fuente y destino | Requerido            |          | Definido por el usuario | No requerido            |         |
| Tasa de Bit                   | Constante            | Variable | Definido por el usuario | Variable                |         |
| Modo de conexión              | Orientado a conexión |          |                         | No orientado a conexión |         |

Fig. 3.5

Estas ideas pueden resumirse en la figura 3.6

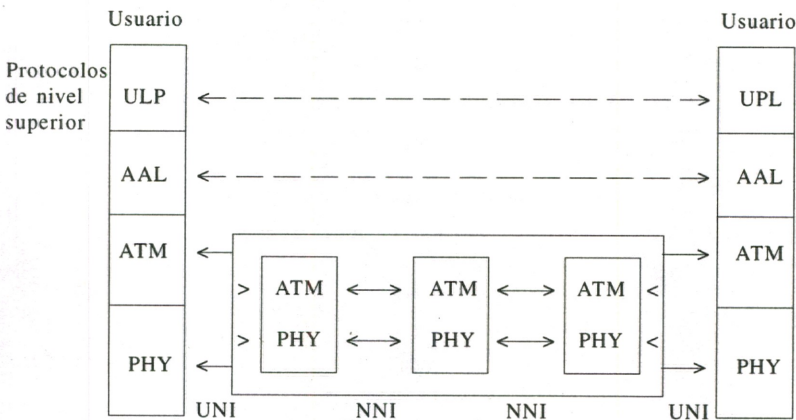
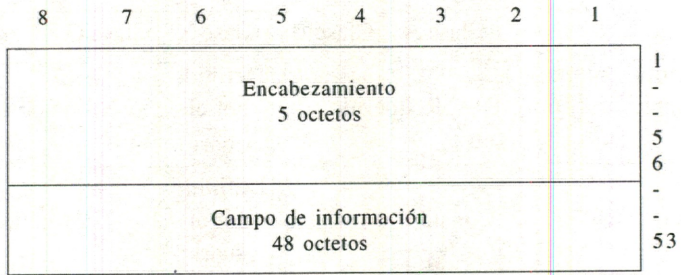


Fig. 3.6 Red ATM - Relación del usuario con los niveles de red.

Obsérvese que para el tráfico de usuario no son involucrados los protocolos de nivel superior ni las operaciones AAL en las funciones de la red ATM. Las líneas punteadas indican que las operaciones lógicas ocurren entre los niveles homólogos (peer) y los nodos ATM. Por lo tanto, las cabeceras ULP, la información de usuarios y las cabeceras AAL pasan de forma transparente a través de la red ATM.

• Formato de las celdas ATM

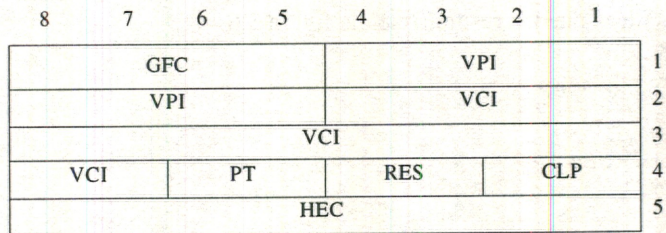
La recomendación I.361 describe en detalle la estructura sobre la que transporta la información. Esta se multiplexa y organiza en celdas de tamaño fijo, cuya estructura es:



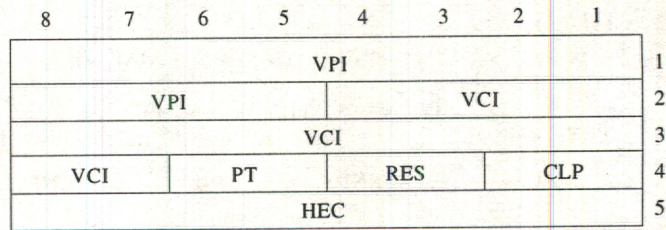
Estructura de la celda ATM

Dentro del encabezamiento hay campos para realizar el enrutamiento control de flujo y otras funciones.

Se definen dos estructuras decodificación de encabezamiento distintas para la interfaz usuario-red (UNI) y la interfaz denodo de red. (NNI), que se indican en la figura a) y b).



a) Estructura del encabezamiento en la UNI.



b) Estructura del encabezamiento en la NNI.

GFC o CFG: Control de flujo genérico VPI o ITV: identificador de trayecto virtual.

VCI o ICV: Identificador de canal virtual.

RES: Reservado.

PT o TCU: Tipo de carga útil.

CLP o PPC: Prioridad de pérdida de la celda.

HEC o CEE: Control de error del encabezamiento.

Estructura de Codificación del Encabezamiento.

El campo de control de flujo genérico (GFC) es responsable del control de flujo en el acceso local; los de identificador de canal y de trayecto

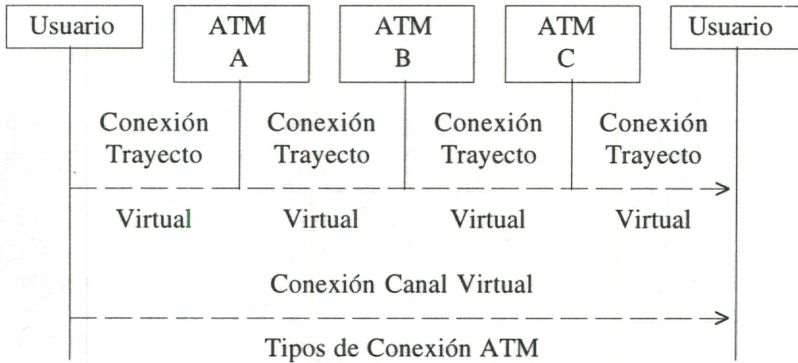


virtual (VCI y VPI) se utilizan para enrutamiento; el de tipo de carga útil (PT) identifica si la información es de usuario o de red; el de prioridad de pérdida de celda (CLP) determina si deberá descartarse la celda según las condiciones de red: el campo de control de error del encabezamiento (HEC) monitorea el encabezamiento, realiza corrección de errores de bit y se reserva un bit para uso futuro (RES). (Se hace notar que la estructura del encabezamiento en la NNI es similar a la de UNI, pero no cuenta con el campo de control de flujo genérico, GFC, y, además, el VPI está compuesto por 12 bits en lugar de 8).

#### • Etiquetas ATM

Decíamos que la conexión ATM es identificada por medio de dos etiquetas llamadas Identificador de Canal Virtual (VCI) e Identificador de Trayecto Virtual (VPI). En cada dirección, sobre una Interfaz dada, diferentes trayectos virtuales son multiplexados por el ATM sobre un circuito virtual. VCI1 y los VPI1 identifican esta conexión multiplexada.

Como se ve en la figura, las conexiones de canal virtual pueden tener significancia extremo a extremo entre dos usuarios finales.



De esta manera, los valores de estos Identificadores de conexión pueden cambiar de acuerdo a cómo el tráfico es repetido a través de la red ATM. Por ejemplo, en una conexión virtual conmutada, el valor de VCI específico no tiene significancia extremo a extremo. Esto es responsabilidad de la red ATM para “seguir el rastro” de los diferentes valores de VCI, de cómo ellos se relacionan entre sí sobre una base extremo a extremo.

El enrutamiento en la red ATM es realizada por los nodos conmutadores que examinan los campos de VPI y VCI en la celda, o solamente el campo VPI. Esta elección depende de cómo el conmutador está diseñado y si los VCI1 son terminados dentro de la red.

Los campos VCI/VPI pueden ser utilizados con operaciones ATM conmutadas o no conmutadas (broadcast). Pueden usarse en operaciones pun-

to a punto o multipunto. Además, pueden ser preestablecidos (PVC1) o establecidos bajo demanda (SVC1), basados sobre determinados procedimientos de señalización, como el protocolo de nivel de red RDSI (ISDN), recomendación Q-931 del CCITT.

Adicionalmente, el valor asignado al VCI sobre la interfaz usuario a red (UNI) puede ser asignado por: a) la red, b) el usuario o c) por medio de un proceso de negociación entre la red y el usuario.

- Multiplexación de VC11 y VPI1

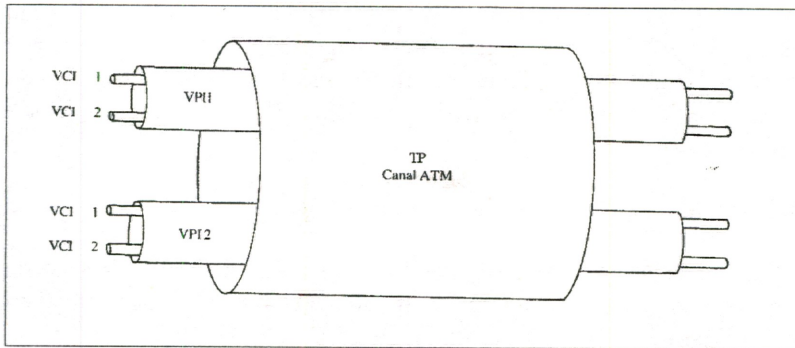
El nivel ATM tiene dos jerarquías de multiplexado: el canal virtual (VC) y el trayecto virtual (VP). El Identificador de Trayecto Virtual (VPI) es un conjunto de canales virtuales. Cada conjunto puede tener el mismo punto terminal. El propósito del VPI es identificar un grupo de conexiones por canales virtuales. Esta aproximación a los VC11 es "enclavada" extremo a extremo para proveer una conexión semipermanente que soporte un número elevado y pueden establecerse bajo demanda.

El VC es utilizado para identificar una facilidad unidireccional para la transferencia de tráfico ATM. El VCI es asignado a la vez que es activada una sesión VC en la red ATM. En dicha red el enrutamiento podría ocurrir a nivel de VC, pero los VC1 son mapeados usualmente a través de la red sin traslación adicional. Si en la red son usados los VC11, el nodo conmutador ATM debe trasladar los valores del VCI entrante en valores de VCI saliente sobre el enlace VC de salida.

El enlace VC de salida debe ser concatenado para formar una Conexión de Canal Virtual (VCC) completa. Los VCCI son usados para transferencia de tráfico usuario a usuario, usuario a red o de red.

El VIP identifica un grupo de enlaces VC que comparte la misma conexión de trayecto virtual (VPC). El valor de VPI es asignado cada vez que el VP es conmutado en la red ATM. Como el VC, el VP es unidireccional para la transferencia de tráfico entre dos entidades ATM contiguas.

Como se ve en la figura, dos VC1 diferentes que pertenecen a dos VPI diferentes, sobre una interfaz particular pueden tener el mismo valor VCI (VC11, VC12). Consecuentemente, la concatenación de VCI y VPI es necesaria para identificar unívocamente una conexión virtual.



Identificadores de una conexión ATM

Recordando que el ATM es un protocolo orientado a la conexión (semi-permanente o por demanda), el establecimiento incluye la asignación de un identificador de canal virtual, asignación de los recursos requeridos por el usuario para acceder a la red.

Estos se expresan como los vistos de velocidad y calidad de servicio, y dichos parámetros se deben negociar entre el usuario y la red para conexiones conmutadas durante la fase de establecimiento del llamado y, algunas veces, durante el llamado.

- Limitaciones del ATM

La tecnología ATM presenta limitaciones en su desempeño para velocidades menores que E1/T1. Arrastra de manera inherente un overhead del 11% en su estructura de celdas de 424 bits.

Si el ATM se utilizara a 64/56 Kbps, con voz comprimida, su eficiencia caería aun más. La celda ATM es mucho mayor que un cuadro de voz comprimida, causando una reducción en su eficiencia del orden del 50%.

El tamaño de celda del ATM fue diseñado para velocidades de 45 Mbps y es demasiado grande para garantizar la entrega en tiempo, de voz sensible al retardo, a velocidades mucho menores que E1/T1. Por ejemplo, si ocho conversaciones de voz comprimida fueran enviadas vía ATM a una conexión de velocidad 64/56 Kbps, se transmitiría primero una celda de la persona uno, luego una celda de la dos, etc. La celda de la octava persona tendría que esperar unos 60 milisegundos antes de su transmisión, creando un tiempo de llegada incierto de hasta 60nseg y un retardo total de hasta 120nseg. Adicionado a la ineficiencia del ATM con voz comprimida, este retardo excedería los 250nseg, es decir, un retardo mayor que un salto satelital. En consecuencia, por combinación de estos dos factores, inhibe al ATM para conexiones con velocidades mayores que E1/T1.

Las soluciones intentadas son propietarias y combinan tecnologías de Paquetes Rápidas y Relevamiento de Celdas (Cell, Relay), logrando inte-

grar eficientemente tráfico de voz y datos. Se logran así velocidades tan bajas como 9,6Kbps con una eficiencia de red del 90 al 95%. Los tamaños de celdas se ubican entre los 25 bits (para conexiones a 9.6Kbps) y 50 bits (para conexiones de 256Kbps), proveyendo una buena eficiencia a velocidades variables.

#### **4. Red Digital de Servicios Integrados (RDSI, ISDN)**

Para finalizar esta breve exposición sobre redes, no podemos dejar de mencionar a la RDSI, paradigma de un futuro cercano y realidad parcial en algunos países de Europa, Japón y parte de Estados Unidos.

##### **4.1. Antecedentes**

Históricamente, el desarrollo de los diferentes servicios de comunicaciones dio como resultado contemporáneo que ellos se presten a través de múltiples y diferentes redes.

Así, por ejemplo, resultaron:

- Red Télex.
- Red Telefónica Conmutada.
- Red para transmisión de datos por conmutación de paquetes.
- Red para transmisión de telegramas por conmutación de mensajes.
- Red para transmisión de datos por conmutación de circuitos (ésta no llega a darse en la Argentina, pero sí en países más avanzados).

Luego sobrevendría la ardua tarea de intercomunicación entre ellas.

Básicamente, la novedad que aporta el concepto de RDSI es integrar todos los servicios en una sola red con una única interfaz de usuario (uni-conector).

Con anterioridad, y bajo la presión del desarrollo tecnológico, se dio el secuencial desarrollo de la Red Digital Integrada (RDI), a partir de una red con muchos enlaces, centrales (nodos) y terminales analógicos. En una secuencia temporal se fue dando la migración de los enlaces primero, las centrales luego y, por último, las terminales (teléfonos), hasta alcanzar la digitalización extremo a extremo. Este desarrollo aún no fue completado en la mayoría de los países y en las etapas intermedias se logra la convivencia de ambos mundos (el analógico con el digital), gracias a los conversores A/D y D/A.

La futura RDSI permitirá la simultánea transmisión sobre la misma red de voz, datos, imágenes, etc. Brindará un soporte natural a servicios de voz agregado (que actualmente se otorgan con limitaciones), tales como el teletex, videotex, fax, consultas a bases de datos, de mensajería, por medio de nodos especializados.

Al presente la red telefónica pública conmutada envía su información de control (tono, llamada, tarificación) dentro de la banda de 4KHz, la cual

significa en teoría que los usuarios pueden interferir con el sistema de señalización interno hacia la central. Para eliminar este tipo de problema, en 1976 la compañía ATyT desarrolló una red de conmutación de paquetes separados de la RPTC, denominada señalización por canal común o fuera de banda. Posteriormente se incorporó a la RDI y el CCITT la normalizó como “señalización N°7”.

Resumiendo, los servicios candidatos a integrar en la RDSI serían:

| ANCHO DE BANDA               | TELEFONIA  |  |  |  |
|------------------------------|--|--|--|--|
| <=64BIT/S<br>(BANDA ANGOSTA) | *Telefonía<br><br>*Circuitos Alquilados<br><br>*Recuperación de información (Análisis y sistemas de voz) | *Conmutación paquetes<br><br>*Conn. Circuitos<br><br>*Circuitos Alquilados<br><br><br>*Telemedia<br>*Transferencia electrónica de fondos<br><br>*Recuperación de información<br>*Alarmas | *Télex<br><br>*Teletex<br><br>*Circuitos Alquilados<br><br><br>*Facsimil<br>*Videotex<br><br>*Recuperación de información<br>*Correo Electrónico | *Recuperación de información<br><br>*Vigilancia<br><br>*Facsimil |
| >64KBIT/S<br>(BANDA ANCHA)   | *Música  | *Comunicación de ordenadores a alta velocidad  |  | *Videoconferencia<br><br>*Videoteléfono                          |

En un gran esfuerzo, el CCITT ha emitido las Recomendaciones de la Serie I, que describe Servicios, Arquitectura, Protocolos, Interfaces, Interfuncionamiento, Mantenimiento, etc. De ello describiremos brevemente los aspectos más destacados.

#### 4.2. Arquitectura, accesos, interfaces y señalización

La principal idea detrás de la ISDN es la del bus digital de bits, conducto virtual entre el usuario y el proveedor de servicios portadores, que transporta el flujo de bits en ambas direcciones, independiente del terminal. Generalmente soporta varios canales independientes, mediante la multiplexación por división en el tiempo.

Las alternativas de acceso por este bus son dos:

- **Acceso Básico** (Basic Rate Interface, BRI), para aplicaciones domésticas con:

2 canales de 64 Kbps (B)

1 canal señalización de 16 Kbps (D)

2 B+D.= 144 Kbps

- **Acceso Primario** (Primary Rate Interface, PRI, para negocios mayores:
  - 30B+D (CCITT), con 2 Mbps
  - 23B+D (USA), con 1.544 Mbps

La oferta con un acceso con múltiples servicios obedece a que, como la implementación de la RDSI resultará onerosa, debería ofrecerse algo más a los usuarios. Asimismo, el CCITT define dispositivos, puntos de acceso e interfaz en la RDSI y su conexión con el usuario.

El proveedor del servicio coloca un dispositivo terminal de la red, NTI, en el domicilio del cliente y la conecta a la RDSI, con las características de:

- Línea a 4 hilos, longitud menor a 1 km, dependiendo del diámetro del conductor.
- Velocidad de 144 Kbps.
- Posibilidad de conectar hasta ocho equipos terminales por cada puerta de entrada de una unidad NT2, en conexión Bus.
- Desde NTI hasta la central, línea de abonado a 2 hilos y hasta 6,5 km longitud máxima; en el futuro, fibra óptica.
- Conexión en bus coaxial 75 ohm/100 m, con terminación.

En la práctica, NTI es más que una caja de conexionado, pues posee electrónica suficiente para la administración y mantenimiento del acceso. Incluso admite el direccionamiento de los diferentes terminales, así como la lógica de contienda para permitirles acceder al bus. En el modelo OSI, el NTI cumple el nivel físico, relacionado con el conector y las señales eléctricas.

Dijimos que para mayores requerimientos de tráfico aparece el dispositivo NT2, denominado PBX o central privada, que al conectar al NT1 proporciona una interfaz con capacidad para manejar teléfonos, ETD, LAN, etc.

El NT2 no es sino una central RDSI más pequeña, que soporta conexiones internas (con sólo cuatro dígitos) y hacia el exterior la conexión puede ser con terminales RDSI llamados TE1; en caso contrario (como el RS-232-C) se provee de adaptadores de terminal TA. (Véase Fig.4.52).

De esta manera, el CCITT definió cuatro puntos de referencia: el R, S, T y U entre los diferentes dispositivos. En cada uno de ellos tendremos interfaces; la señalización N°7, o por canal común, otorga ciertas ventajas:

- La señalización se puede transmitir en cualquier momento, aun cuando

se está utilizando el canal para voz o datos.

- El tiempo de establecimiento de la comunicación es menor que otros métodos.
- Posee un sistema propio de corrección de errores.
- Permite incluir en la señalización otros servicios, como por ejemplo: facturación, mantenimiento, administración de la red, telemedición o alarmas, facsímil, etcétera.

En la Figura 4.53 pueden observarse las funciones de la RDSI contenidas en el modelo estratificado de los siete niveles (X.200).

## 5. Conclusiones

Se observa que las redes avanzan sustentadas fundamentalmente en

- cada vez mayor demanda de ancho de banda (bps) y
- nuevos servicios.

Ambos conceptos se realimentan entre sí, produciendo una natural sinergia.

El futuro cercano nos señala a la RDSI-BA, de la cual el CCITT recomienda dos categorías de servicios principales:

- a) Interactivos: convencionales, mensajería y consulta.
- b) De distribución.

En este caso se entiende por interactivos el intercambio de información entre el abonado origen y el objeto del servicio (máquina u otro usuario).

Dentro de ello, los servicios:

- Convencionales: intercambio de datos, documentos, imágenes y sonido, involucrando al receptor y al emisor (telefonía, videoconferencia, datos de alta velocidad, interconexión de redes locales, LAN, etc.).
- De mensajería: envío de información en una base de datos, como también la comunicación electrónica entre usuarios.
- De consulta: posibilitan la extracción de información almacenada en una base de datos (correo electrónico, consulta de video, acceso a bibliotecas remotas, etc.).

Los servicios de distribución son esencialmente pasivos (de entretenimiento) y como ejemplo pueden citarse la distribución de programas de TV con la calidad de imagen actual y mejorada en el futuro (televisión de alta definición "HDTV"), distribución de datos no restringidos, etcétera.

Desde la óptica tecnológica, se observa el desplazamiento de las redes con X.25, lentamente hacia Frame Relay, siempre que la calidad de los vínculos lo permita.

Si bien la aplicación principal de FR es la interconexión de LAN y algún tráfico de alta velocidad, aplicaciones como multimedia, videoconferencia y voz, al ser sensibles al tiempo (demoras), no se corresponden con esta técnica. De todas maneras, en nuestro país la red pública para transmisión

de datos (ARPAC) ha realizado la migración.

Sorteados estos inconvenientes (por sobre T1/E1), aparece en un futuro próximo (por lo menos dos años en EEUU) la tecnología ATM. En la actualidad aparece clara su ventaja para actuar como "backbone" o columna vertebral, uniendo de otras bajo Frame Relay, por ejemplo. Opera así con conexiones de fibra óptica, operando entre 45 y 600 Mbps, especialmente cuando se manejen aplicaciones de imágenes, multimedia y video interactivo, recordando sus conmutadores que al trabajar con celdas de longitud realiza sus operaciones a nivel de hardware, reduciendo notablemente los retardos, fundamental para voz y video.