

Capítulo 8: **Interconexión de Redes: La evolución de LANs a WANs y de estas a Redes de Banda Ancha.**

Nuevas tecnologías.

Objetivos: Describir las nuevas tecnologías de interconexión de redes: SDH/SONET, Redes WDM y DWDM, Frame Relay, DQBD(MAN), SMDS, ATM, VDSL (ADSL,etc), Internet V6, Redes inalámbricas, ISDN y B-ISDN.

8.1.-SDH/SONET.

8.1.1.-Conceptos generales sobre SDH.

En la **Sección 7.2** al hablar de **Conexiones punto a punto** se describieron los **Sistemas de Transporte ó Portadores** de la jerarquía digital utilizada en Estados Unidos(DS1 a DS5) y la usada en Europa(E1 a E4),los que denominamos **pleisiócronos** por razones que allí se explicaron. También se anunció con relación a la **Figura 7.1** la existencia de una **Jerarquía Digital Síncrona (JDS) ó SDH(Synchronous Digital Hierarchy)**,que atendía a velocidades de 155 Mbps y superiores.

A principios de los 80 se hizo evidente que las comunicaciones digitales serían el sistema adecuado para el crecimiento de las redes de comunicaciones dado que tecnologías como VLSI y la fibra óptica lo permitían y una civilización cada día mas interdependiente lo requería.Se hacia necesario,y deseable, entonces ir a velocidades mayores que los 140 Mbps de **E4** ó los 275 Mbps de **DS4**,así apareció el **DS5** con 560 Mbps,pero esto además de insuficiente planteaba varios problemas consecuencia de las debilidades del sistema utilizado..

Las debilidades de aquellas redes pudieran resumirse así:

❖ **Poco flexibles y costosas.**

En redes de telecomunicaciones la **flexibilidad** se evalúa en términos de la facilidad de acceso a una señal tributaria concreta, transportada por un determinado sistema de línea, con el fin de que pueda reencaminarse.

El acceso a las señales tributarias individuales en cada nivel de jerarquía, para fines de encaminamiento y comprobación de señales, se logra se logra mediante puntos de interconexión de señales en el nivel apropiado de estructura de multiplexión. Observamos entonces que debido al carácter asincrónico de la multiplexión, que hace que la ubicación exacta de cada bits no se pueda predecir debido a los bits extra de justificación positiva(de relleno de bits),para acceder a una señal de 2.048 Mbps(**E1**) a fines de reencaminamiento ó prueba, debemos tomar la señal de línea y **demultiplexarla** etapa por etapa hasta los 2.048 Mbps,lo mismo sucede si queremos "bajar" un determinado canal de 64 kbps.

Se requiere un equipo, denominado **back-to-back multiplexor**, caro y complicado para lograrlo, lo mismo ocurre en con la estructura jerárquica americana(DS1,DS2,DS3 y DS4).

En la **Figura 8.1** se muestra el proceso en uno de los extremos del **sistema de línea**, allí se muestran las señales tributarias de niveles primario, secundario y terciario, así como los puntos de interconexión, en el otro extremo el proceso es una imagen de espejo de esta, se observa entonces la complicación y costo de acceder a determinados canales.

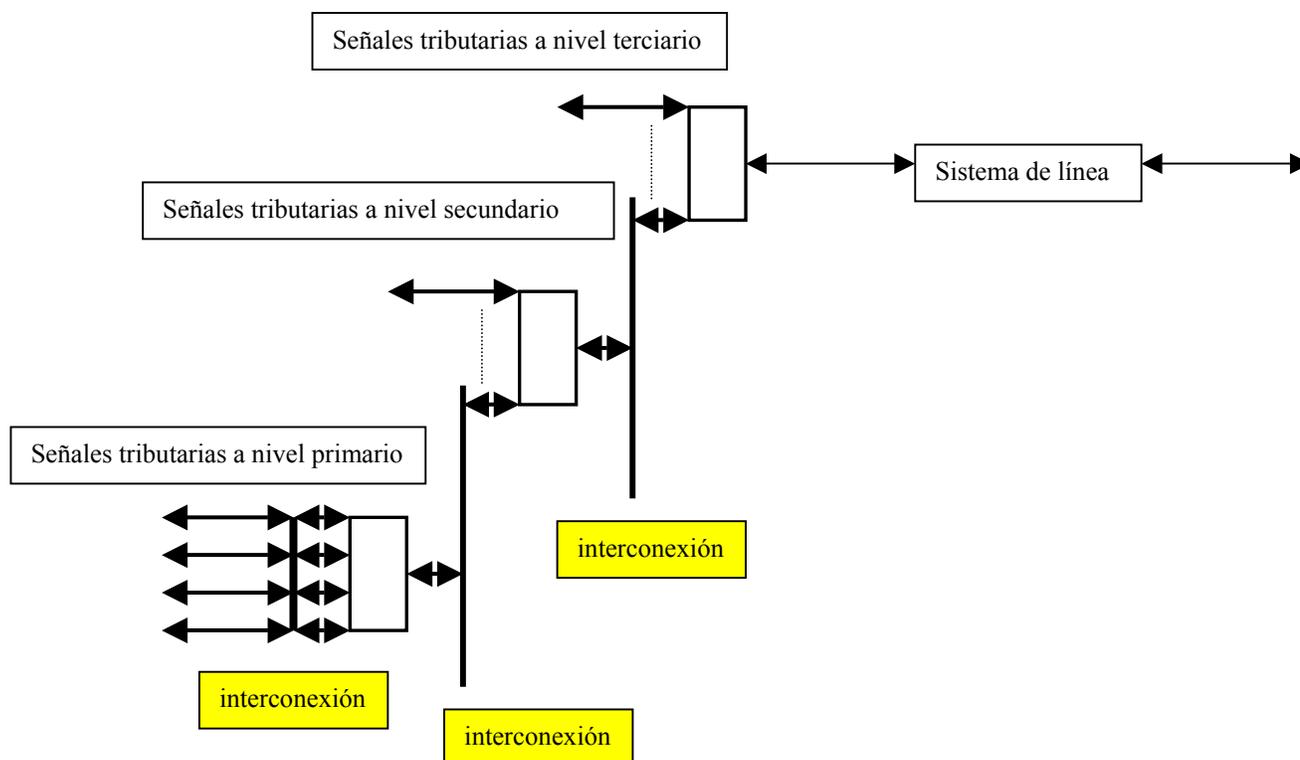


Figura 8.1. Multiplexión y demultiplexión en los sistemas previos a SDH.

❖ **Posibilidades extremadamente limitadas de gestión y mantenimiento de la red.**

Cuando se diseñaron inicialmente las redes los procedimientos de gestión y mantenimiento se basaban en la interconexión manual de señales con técnicas de comprobación fuera de servicio, por ello no era necesario, ni conveniente dada la limitación de los anchos de banda disponibles, agregar capacidad adicional a las estructuras de tramas de las señales para realizar funciones de gestión y mantenimiento de la red. Esta falta de capacidad sobrante en las tramas limita las posibilidades de gestión y mantenimiento en redes de mayor capacidad.

❖ **Sistemas de alta velocidad propietarios.**

La necesidad de redes de comunicaciones de velocidades superiores a **E4** y **DS4** agudizó el problema, ya existente, de la falta de estandarización, surgieron entonces diseños patentados por los fabricantes (o diseños propietarios), de manera que el usuario debía adquirir en ambos extremos equipos de línea del mismo fabricante y no podía combinar equipos de diversas marcas, esto atentaba seriamente contra la difusión de la tecnología y contra la economía del usuario dado que el prestatario del servicio de comunicaciones, una vez escogido un proveedor, quedaba "amarrado" a este de por vida y a todo coste. Por si eso fuera poco, dada la inexistencia de estándares, no había posibilidades de interconexión con equipos de otro fabricante.

A pesar de que lo anterior se hubiese podido solucionar sin abandonar PDH, la falta de facilidades de manejo (a pesar del esquema ESF descrito), la tremenda capacidad de procesamiento de las obleas (chips) de VLSI y la extraordinaria y creciente capacidad de la fibra óptica, hicieron que valiese la pena hacer el esfuerzo de crear una arquitectura de transmisión digital nueva y síncrona, el **SDH** (Synchronous Digital Hierarchy) ó **Jerarquía Digital Síncrona (JDS)**.

A mediados de los 80 surgieron dos iniciativas para solucionar estos problemas, en Estados Unidos Bellcore desarrolló, y ANSI (American National Standards Institute) normalizó, un estándar llamado **SONET** (Synchronous Optical Network), en Europa impulsado por ETSI (European Telecommunications Standard Institute) y por CEPT se creó también un estándar de **SDH**, llamado "estándar europeo". En Japón se utiliza una versión de SDH que difiere en detalles de ambos.

Entonces, **SDH** (Synchronous Digital Hierarchy) y **SONET** (Synchronous Optical Network) son dos estándares similares de **JDS** para transportar señales digitales mediante **fibra óptica**.

A fin de evitar un caos en redes de alta velocidad en 1986 en el Grupo de Estudio XVIII del entonces CCITT se inició el estudio del SDH, en Noviembre de 1988 se aprobaron las primeras normas de SDH (G.707, G.708, G.709) que definían las velocidades de transmisión, el formato de las señales, las estructuras de multiplexión y el encuadre de señales tributarias para la interfase de Nodos de la Red (**NNI**, Network Node Interfase) que es la interfase internacional normalizada para SDH. En 1996 las normas citadas se revisaron y reescribieron como G.707 desapareciendo las 708 y 709 (ver Recomendaciones de ITU-T versión Diciembre 1998), como esto ocurre frecuentemente debe consultarse la última versión de la ITU-T.

Además de lo anterior el CCITT produjo normas para el funcionamiento de **multiplexores síncronos** (G.781, G.782 y G.783) y para la gestión de la red SDH (G.784), por lo tanto este concepto de **sistema de transporte síncrono** va más allá de las necesidades básicas de un sistema punto a punto e incluye los requisitos de las redes de telecomunicaciones: **conmutación, transmisión y control de la red**. Estas posibilidades permiten utilizar SDH en las tres áreas de aplicación: **redes locales (LANs), redes intercentrales y redes amplias (WANs)**, esto significa que SDH aporta una infraestructura unificada para redes de telecomunicaciones.

SDH es entonces la norma internacional de telecomunicación óptica de alta velocidad, los estadounidenses consideran SONET sinónimo de SDH pero tiene diferencias menores con el de la ITU. A pesar que SDH/SONET fueron creados para fibra óptica existen sistemas de radio SDH.

En lo sucesivo nos referiremos al SDH de ITU-T y cuando amerite señalaremos la diferencia con SONET.

Las ventajas de SDH son varias:

- **Diseñado para redes de telecomunicación flexibles y económicas.**

SDH se basa en multiplexión directa síncrona, esto significa que las distintas señales tributarias pueden multiplexarse **directamente** en una señal de SDH de mayor velocidad sin etapas intermedias de multiplexión, lo mismo es válido para la demultiplexión. Por lo tanto los elementos de una red SDH pueden interconectarse directamente, con el consiguiente ahorro en costo de equipos. Por ello la inserción ó la recuperación de tributarios son sencillas y se utilizan los ya mencionados **multiplexores síncronos**.

Las redes SDH/SONET la multiplexión directa síncrona puede realizarse flexible y económicamente con los elementos de red (**NE**, Network Element), ellos son:

Multiplexores terminales: proveen acceso a la red SDH de tipos tradicional de tráfico como el de 2Mbps G.703 u otros formatos de datos como FDDI.

Conmutadores de interconexión ó cross-connect:son equipos que reúnen las funciones de multiplexión síncrona y de conmutación digital.

Multiplexor de inserción/extracción ó Add and Drop Module(ADM):es un equipo para la inserción ó extracción de tributarios.

Regeneradores:son equipos que cuando la señal óptica se ha debilitado mucho recuperan la señal eléctrica, reemplazan algunos bits (los del overhead de la sección, más adelante se explicará que es sección en SDH) y vuelven a modular la fuente de luz de salida.

La **Figura 8.2** muestra algunos de estos elementos.

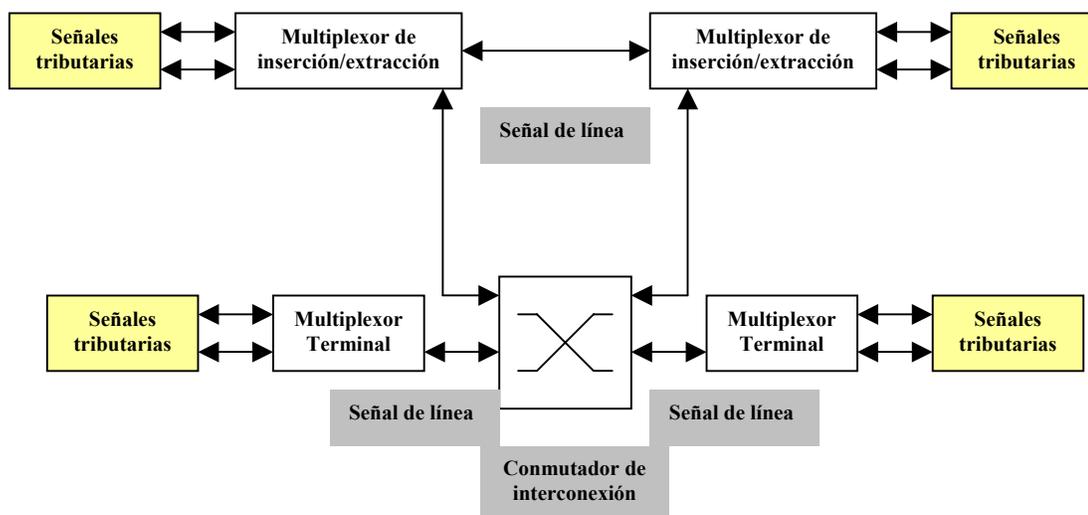


Figura 8.2.Algunos equipos utilizados en SDH.

- **Provee capacidad de señalización para realizar funciones avanzadas de gestión y mantenimiento de la red.**

En SDH casi el 5% de la estructura de las señales se reserva para dar soporte a procedimientos y prácticas de gestión y mantenimiento de la red.

Es fundamental el control de la red asistido por computador, pero gran parte de la funcionalidad de gestión y mantenimiento debe delegarse e incorporarse a los distintos elementos de la red, así se logra un sistema integrado de gestión y mantenimiento.

Con esto se logra asegurar el mantenimiento de la calidad del servicio prestado a los clientes y también puede gestionarse en línea el ancho de banda de la red.

- **Posibilidades de transporte de señales flexibles.**

SDH puede transportar todas las señales tributarias habituales (E1, E2, E3, DS1, DS2, DS3) y también puede dar cabida a nuevos tipos de señales de servicios para clientes que los operadores añadan en el futuro (FDDI, DQDB¹, ATM), por lo que puede desplegarse por encima de la red existente.

¹ DBDB es Distributed Queue Dual Bus, bus dual de colas distribuídas, estándar para MAN.

- **Permite disponer de una única infraestructura de red de comunicaciones.**

Como ya se dijo SDH puede utilizarse en redes locales, redes intercentrales y redes amplias por lo que se trata de una infraestructura unificada de red de telecomunicaciones que mediante las "interfase de nodos de red"(NNI) permite interconectar equipos de diversos fabricantes.

8.1.2.-Estructura básica de una señal de SDH.

La señal **sincrónica**(significa que todos los equipos están sincronizados con un reloj maestro único)de SDH consta de un conjunto de bytes de 8 bits que se organizan en una estructura de trama, en la que la identidad de cada byte se conoce y se mantiene con respecto a un byte de trama ó marcador, ver **Figura 8.3**

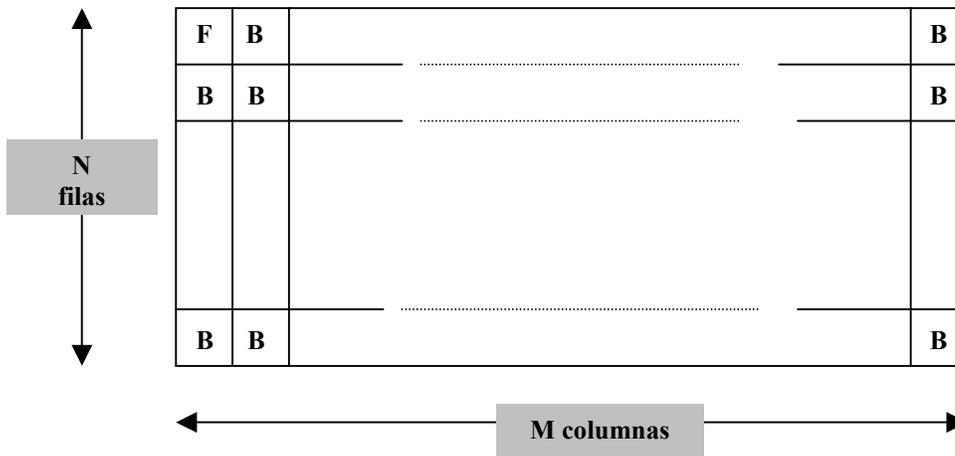


F byte de trama ó marcador

Figura 8.3. Trama de una señal sincrónica

A fin de ilustrar esta trama se representa mediante un esquema bidimensional, que consta de N filas y M columnas. Cada celda representa un byte de 8 bits de la señal sincrónica. Un byte de estructuramiento aparece en la casilla superior izquierda del esquema bidimensional, este byte actúa como marcador, permitiendo localizar fácilmente cualquier byte de la trama.

Los bytes de las señales se transmiten en secuencia, empezando con los situados en la primera fila, de izquierda a derecha, una vez transmitido el último byte de la última fila de la trama, se repite la secuencia, comenzando con el byte marcador de la trama siguiente, **Figura 8.4**.



B indica un byte de señal

8.4. Esquema bidimensional de la trama sincrónica

Ahora es cuando se introduce el concepto fundamental de SDH, se trata de que el **sistema de transporte estandarizado** se compone de **contenedores**, con diferentes contenedores para diferentes tipos de carga, para mayor capacidad de carga varios camiones son enviados en paralelo, en los puntos de interconexión los contenedores son movidos de un medio a otro, ver **Figura 8.5.**

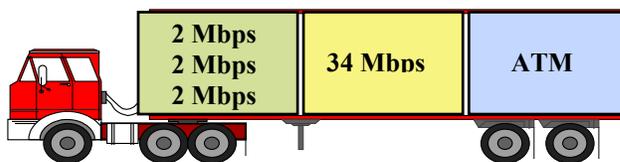


Figura 8.5. Concepto de contenedores.

El hecho de que las señales tributarias sean transportadas inalteradas a través de una red sincrónica dio origen al término **trama de transporte sincrónico** para las tramas descritas. Estas tramas se dividen en dos elementos bien diferenciados y fácilmente accesibles en la estructura de la trama:

- ◆ **Carga de información(payload) en contenedor virtual(VC).**
Es la información digital real transportada por la red, las distintas señales tributarias (como puede ser las de 32 Mbps) se disponen en un **contenedor virtual** para su transmisión extremo a extremo. El VC se ensambla y desensambla una sola vez, aunque puede transferirse de un sistema de transporte a otro numerosas veces mientras circula por la red.
- ◆ **Encabezado de sección(SOH Section OverHead) u overhead**
En cada trama se reserva un cierto número de bits para el **encabezado de sección**. Ello aporta recursos (para monitoreo de alarmas, punteros, verificación de errores, canales de datos de comunicaciones) necesarios para sustentar y mantener el transporte de un VC entre los nodos de una red sincrónica. El encabezado de sección pertenece únicamente a un sistema de transporte concreto, y no se transfiere con el VC entre sistemas de transporte.

8.1.3.-Interconexión en una red SDH y encabezados.

Una red SDH es una malla interconectada de nodos procesadores de señal. La interconexión de dos nodos cualesquiera de la red se logra por medio de **sistemas de transporte SDH individuales**, cada sistema de transporte tiene una trama propia.

Esa trama se compone, como se mencionó más arriba, de:

- ✓ El **contenedor virtual VC**
- ✓ El **encabezado de sección(SOH)**

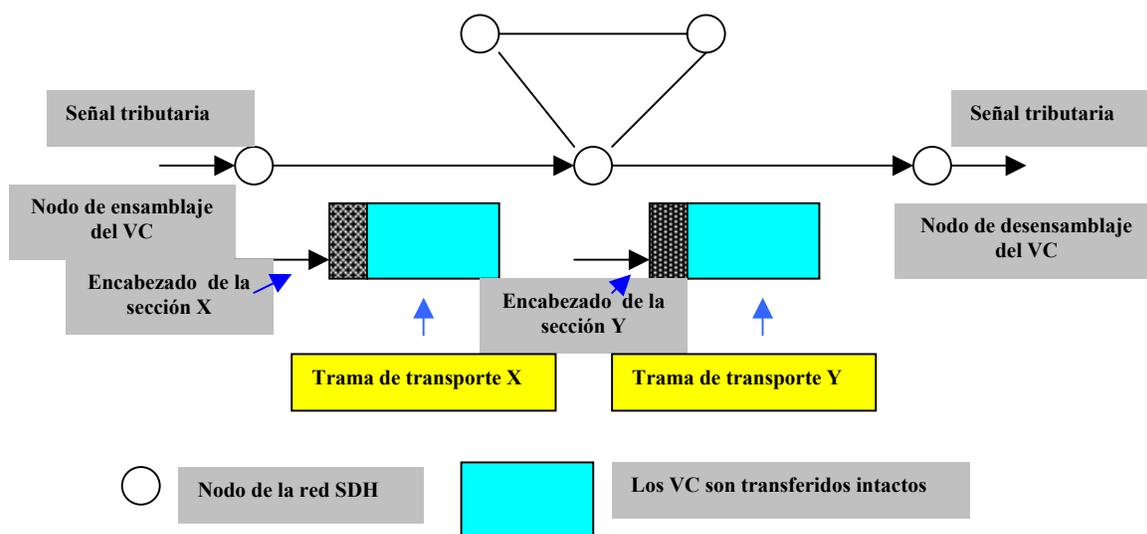


Figura 8.6. Encabezados y contenedores virtuales(VC) en una red SDH.

8.1.3.-Tasa de transmisión de línea.

Dado que SDH/SONET provienen de ITU-T y de ANSI(USA) es lógico que la nomenclatura difiera, así SDH usa **STM-N** y SONET **STS-N** para señales eléctricas y **OC-N** para señales ópticas, pero eso no afecta el hecho de que las tasas son únicas.

La tasa base es **STM-1** de 155.520 Mbps puede ser multiplicada para formar tasas superiores. Así para formar una tasa cuatro veces mayor que STM-1, la STM-4, simplemente se multiplica por cuatro, obteniéndose 622.080 Mbps.

En general $N \times \text{STM-1} = \text{STM-N}$

Tasa en Mbps	Nomenclatura SDH	SONET Nivel Óptico	SONET Eléctrico	Capacidad SDH	Capacidad SONET
51.480	STM-0	OC-1	STS-1		28 DS1 ó 1 DS3
155.520	STM-1	OC-3	STS-3	63 E1 ó 1 E4	84 DS1 ó 3 DS3
622.080	STM-4	OC-12	STS-12	252 E1 ó 4 E4	336 DS1 ó 12 DS3
2488.320	STM-16	OC-48	STS-48	1004 E1 ó 16 E4	1344 DS1 ó 48 DS3

En realidad los STM-N son muchos más, tal como muestra la **Figura 8.7**, y seguramente se incrementaran a corto plazo.

Network Transport Layers

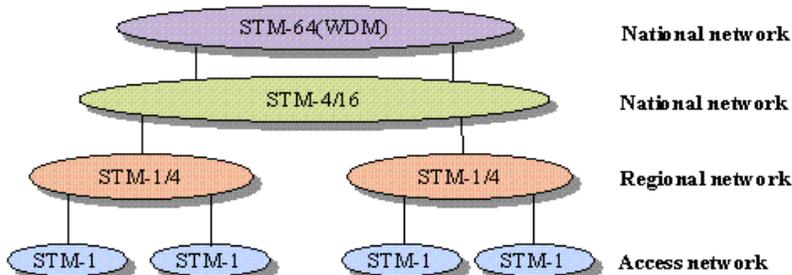


Figura 8.7.Niveles de STM-n

8.1.4.-Jerarquía de multiplexaje SDH.

Ya se dijo que STM-1 es la tasa de transmisión básica de SHD y que se compone de tramas que se repiten cada 125 microsegundos, multiplexando tramas STM-1 octeto a octeto se obtienen las STM-N.

Dentro de la trama STM-1 pueden transmitirse todas las señales plesiócronicas de los estandares americano y CEPT, tal como ilustra la **Figura 8.8**.

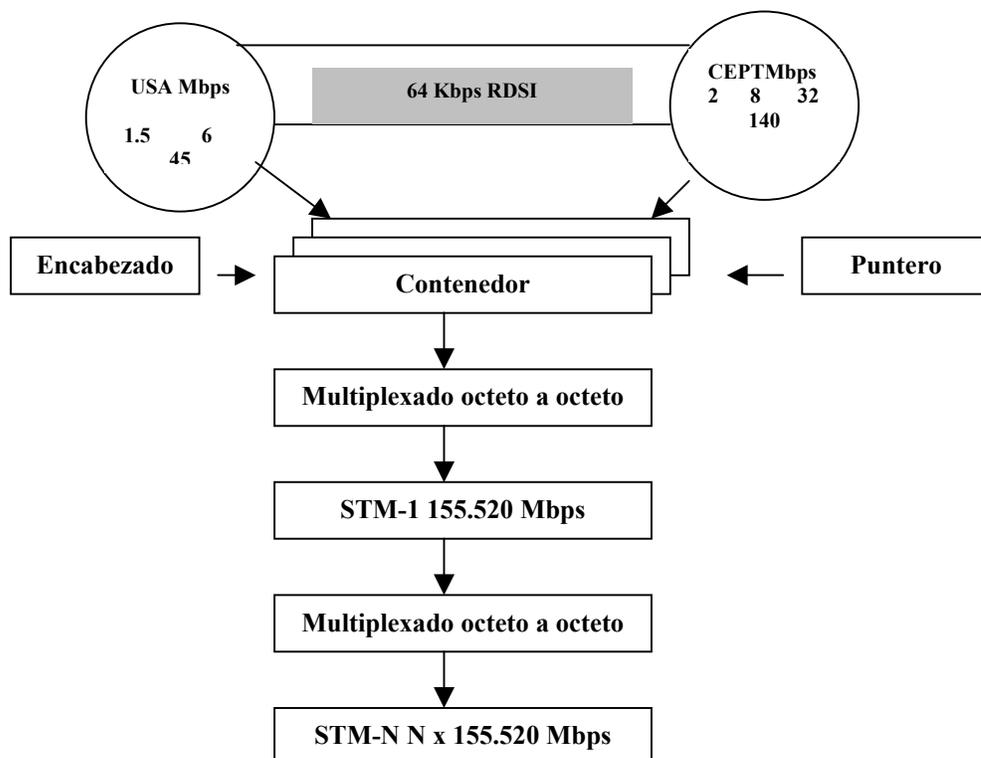


Figura 8.8.Principio de transmisión y del multiplexado de SDH

Los **contenedores(C)** son capacidades definidas de transmisión sincronizadas con la red y proyectados de tal forma que se pueda transmitir cualquier señal determinada de las jerarquías PDH americana ó europea.

A cada contenedor se le añade individualmente un **encabezado de ruta** denominado **path overhead(POH)**,que es información adicional de manejo,y lo convierte en un **contenedor virtual (VC)**.

8.1.5.-Estructura de la trama STM-1.

La trama STM-1 tiene la estructura descrita en las **Figuras 8.3 y 8.4**,el esquema bidimensional consta de 9 filas por 270 columnas,lo que significa una capacidad total de 2430 bytes de 8 bits(19440 bits por trama).La tasa de repetición de la trama ó **tasa de trama** es de 8000 tramas por segundo(igual a la tasa de trama de una canal de voz de PCM),por lo que la duración de la trama es de 125 microsegundos.En consecuencia 19440 bits por trama y 8000 tramas por segundo conducen a 155.520 Mbps.

Como ya se dijo la trama se divide en un **encabezado de sección(SOH) ú overhead**,que ocupa las nueve primeras columnas de STM-1,es decir 81 bytes,y el **contenedor virtual** que ocupa las 261 columnas restantes,esto aporta una capacidad de canal de 150.34 Mbps para transportar señales tributarias intactas a través de la red SDH.

Este contenedor virtual se denomina **contenedor virtual de nivel 4 ó VC-4** y tiene capacidad suficiente para transportar la señal tributaria de 139.264 Mbps,los niveles 1,2 y 3 del contenedor virtual se obtienen dividiendo el VC-4.

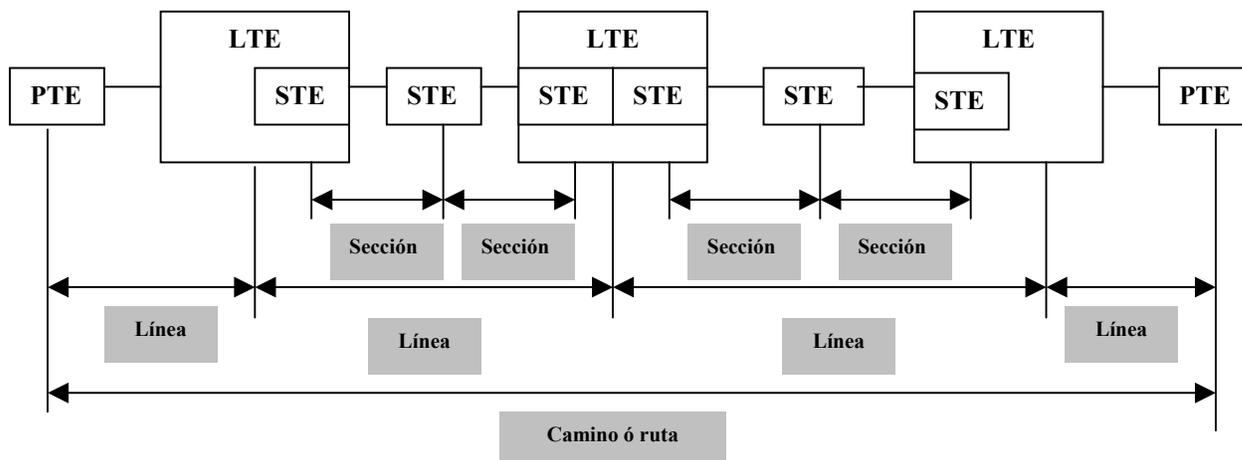
Para facilitar la multiplexión e interconexión eficiente de las señales en una red SDH se permite que el VC-4 fluctúe dentro de la capacidad de carga proporcionada por las tramas STM-1,esto quiere decir que el VC-4 puede comenzar en cualquier punto de la capacidad de carga de STM-1,y es poco probable que esté contenido por entero en una trama,lo más posible es que comience en una trama N y termine en la siguiente N+1.

En el **encabezado de sección** hay disponibles unos bytes denominados **punteros** que indican la ubicación del primer byte,llamado **J1**,del VC-4.

Los punteros también permiten que esta red SDH que es básicamente sincrónica,es decir que todos los nodos deberían obtener sus señales de temporización de un mismo reloj maestro de la red,funcione asincrónicamente cuando un nodo pierde la referencia de temporización de la red.y funciona con su reloj auxiliar.

8.1.6.-Sistema de transmisión síncrona completo y su relación con la estructura de la trama STM-1.

La mejor manera de ver con más detalle como se puede formar la trama STM-1 a partir de las señales PDH,es describir las partes de un sistema de transmisión síncrona completo,que son **secciones,líneas y caminos**,cada parte ó segmento aporta su encabezado,de ahí que existan tres tipos de encabezados,ver **Figura 8.9**.



PTE Equipo terminal de Camino ó Ruta.
 LTE Equipo terminal de Línea
 STE Equipo terminal de Sección

Figura 8.9. Partes de un sistema de transmisión síncrona completo.

Un **camino** (ó **ruta**) es un trayecto de transmisión de extremo a extremo a través del sistema de transmisión completo, cada extremo del camino termina en una **equipo terminal de camino** (PTE, Path Terminal Equipment), se trata entonces de una conexión lógica entre el punto en el que una señal tributaria se ensambla en su contenedor virtual y el punto donde se desensambla desde el contenedor virtual. Estos PTE son los **multiplexores terminales de SDH** de la **Figura 8.2**.

Una **línea ó sección multiplexora** abarca varias secciones de cable que aportan los medios para transmitir información entre dos nodos consecutivos de la red, uno de los nodos de la red origina el encabezado de la sección multiplexora (MSOH) mientras que el otro termina este encabezado. La línea ó sección multiplexora termina en un **equipo terminal de línea** (LTE, Line Terminal Equipment), los conmutadores de interconexión ó cross-connect y los multiplexores de inserción/extracción ó Add and Drop Module (ADM) son ejemplos de este tipo de equipos.

Una **sección** (ó **Sección del regenerador**) es un solo tramo de cable de transmisión, ambos extremos del cable terminan en un **equipo terminal de línea** (STE, Section Termination Equipment), un ejemplo de equipo terminal de línea es un repetidor que regenera las señales eléctricas/ópticas que se transmiten en esa sección de cable.

La trama STM-1 tiene, como ya se mencionó, un **encabezado de sección** (SOH) y un **contenedor virtual VC-4**. El contenedor virtual a su vez consta de una capacidad de carga de tráfico, denominada **contenedor** con 9 filas y 260 columnas, que da una capacidad de carga de 149.76 Mbps y de 1 columna de 9 bytes para manejo que llamamos **encabezamiento de ruta**.

El **encabezado de sección** (SOH) de 9 filas por 9 columnas reserva las tres primeras filas para bytes de **encabezado de la sección del regenerador**, la siguiente fila para **punteros** y las restantes cinco filas para **encabezado de la sección del multiplexor**. El detalle de las funciones de cada bit, de cómo se arma el SOH, etc. exceden el objetivo de esta Sección, para más detalles ver las Referencias [1],[2],[3],[4] y [5].

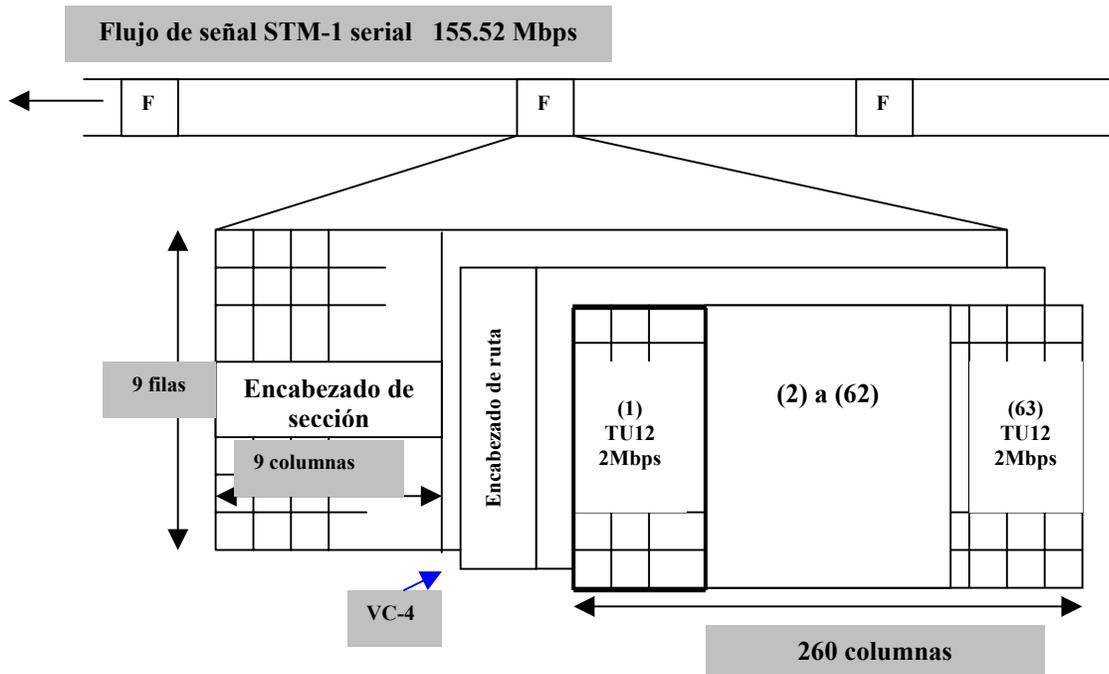
Si la señal tributaria es de 140 Mbps su inclusión en un VC-4 ha sido descripta, pero ¿cómo se hace con las señales tributarias de menor velocidad, como 2 Mbps?, la respuesta es mediante una **unidad tributaria(TU)**.

Las Unidades tributarias ó TU son estructuras parciales de trama (tramas a su vez, pero más pequeñas) que tienen por finalidad permitir el transporte y conmutación de una capacidad de carga inferior a la aportada por VC-4. La estructura de trama de TU encaja perfectamente en el VC-4 y en la zona C-4 del VC-4 puede ensamblarse un número fijo de TUs completas.

Vamos a describir la serie de TUs:

- I. **TU11**: consta de 27 bytes estructurados como 3 columnas de 9 bytes. A una velocidad de 8000 tramas por segundo estos bytes aportan una capacidad de transporte de 1.728 Mbps que permitirá el encuadre de la señal DS1(1.544 Mbps). El VC-4 de la STM-1 admite 84 TU11s.
- II. **TU12**: consta de 36 bytes estructurados como 4 columnas de 9 bytes. A una velocidad de 8000 tramas por segundo estos bytes aportan una capacidad de transporte de 2.304 Mbps que permitirá el encuadre de la señal E1(2.048 Mbps). El VC-4 de la STM-1 admite 63 TU12s.
- III. **TU2**: consta de 108 bytes estructurados como 12 columnas de 9 bytes. A una velocidad de 8000 tramas por segundo estos bytes aportan una capacidad de transporte de 6.912 Mbps que permitirá el encuadre de la señal DS2(6.312 Mbps). El VC-4 de la STM-1 admite 21 TU2s.
- IV. **TU3**: consta de 774 bytes estructurados como 86 columnas de 9 bytes. A una velocidad de 8000 tramas por segundo estos bytes aportan una capacidad de transporte de 49.54 Mbps que permitirá el encuadre de la señal DS3(44.736 Mbps). El VC-4 de la STM-1 admite 3 TU3s.

A modo de ejemplo veremos como se empaquetan TU12 en un VC-4, esto es importante pues la señal E1(2.048 Mbps) es ampliamente utilizada. La estructura de 4 columnas por 9 filas encaja perfectamente en la estructura de 9 filas de VC-4, pueden colocarse 63 TU12s en las 260 columnas de capacidad de carga de C-4, quedan 8 columnas sobrantes que se llenan con **bytes fijos de relleno**, ver **Figura 8.10**.



Los TU pueden funcionar en **modo flotante** o en **modo enclavado**, no nos extenderemos sobre esto remitiendo a lector a la bibliografía del tema de SDH.

Obsérvese que una unidad tributaria como TU12 tiene 2.304 Mbps para una señal E1 que es de 2.048 Mbps ¿porqué?.

Ocurre que una trama TU se crea encuadrando una señal tributaria en el **contenedor TU**, se le agrega un **encabezado de ruta de orden inferior** para crear un **contenedor virtual (VC11, VC12, VC 2 ó VC3)** dependiendo del tipo de TU) y enlazando este VC con la trama de la VC mediante un **puntero**, que es el único elemento de el encabezado de sección de la TU. Esta TU es la que se multiplexa en el VC-4.

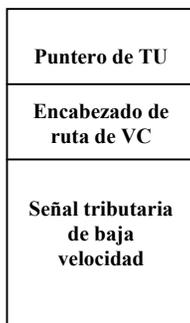


Figura 8.11. Estructura de trama de la unidad tributaria TU.

En el caso que el contenedor virtual VC se adapte directamente al STM-1 con ayuda del puntero de datos (Pointer) se hablará de una **unidad administrativa AU** (Administrative Unit), si por el contrario, el VC se adapta a un contenedor, entonces se tendrá una **unidad tributaria TU** (Tributary Unit). Determinadas TUs se agrupan octeto a octeto en una **unidad tributaria de grupo TUG** (Tributary Group Unit). Las AUs también se agrupan en **unidad administrativa de grupo AUG** (Administrative Group Unit).

La **Figura 8.12** (que se encuentra en el **Apéndice A**) muestra las diversas etapas de multiplexión establecidas por el ITU-T que comienzan con los tributarios PDH y alcanzan las estructuras síncronas SDH-N pasando por TUs, AUs, TUGs y AUGs.

Los elementos de multiplexado de la jerarquía digital síncrona son entonces:

- STM-1 Unidad básica de SDH** con 155.520 Mbps
- AU Unidad Administrativa** en el STM-1
- SOH Encabezado de Sección** 9 x 9 bytes para la gestión de la red síncrona.
- AU + SOH** trama STM-1 de 9 x 270 bytes
- C Contenedor**
- POH Encabezado de ruta**
- C + POH** da lugar al **VC**
- VC Contenedor Virtual**
- PTR Pointer Puntero**
- VC + PTR** da lugar a TU ó a AU
- TU Unidad Tributaria**
- TUG Unidad Tributaria de Grupo**
- AUG Unidad Administrativa de Grupo**

La arquitectura de las redes SDH son:

- ◆ **Punto a punto**, similares a las de 565 Mbps
- ◆ **Punto a Multipunto**, utilizan ADM.
- ◆ **Anillo**, utilizan ADM.
- ◆ **Concentrador(Hub)**, usa cross conexión digital de banda ancha

8.2.-Redes WDM y DWDM [6].

En el curso de los 90s el mercado observó un incremento exponencial en la demanda de redes de comunicación globales. Privatización, desregulación, proliferación de telefonía y fax e Internet han sido factores preponderantes en el crecimiento de las telecomunicaciones, ese proceso es acelerado actualmente por el comercio electrónico, impulsado por VPNs (Virtual Private Networks), nuevos servicios, y por un incremento en el acceso de banda ancha vía cable modems y ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line).

La tasa de crecimiento del mercado de telecomunicaciones es:

Voz 5-10%
Líneas Privadas 10-15%
ATM (Asynchronous Transfer Mode) 100%
Internet 150%

El tráfico de datos es actualmente el 50% del tráfico total y se espera que entre el 2000 y el 2006 iguale al resto del tráfico, esta demanda ha hecho que el ancho de banda de las redes, que era de decenas de Mbps en el comienzo de los 80, sea hoy de Tbps.

Entonces el tráfico de datos, que sigue la ley de Moore, y el incremento de overhead de IP sobre ATM sobre SONET, hicieron que se desarrollase **WDM (Wavelength Division Multiplexing)**, que significa el uso de dos ó más longitudes de onda (frecuencias) en la misma fibra óptica.

WDM comenzó tímidamente a principios de los 90 con dos longitudes de onda: 1550 nm y 1310 nm, tecnología que se llamó **WDM de banda ancha**.

A mediados de los 90 con el desarrollo de transporte 2x2 y 4x4 bidireccional a 1550 nm y 2.5 Gbps, para conexiones punto a punto, surgió el **WDM de banda angosta**.

Finalmente a fines de los 90 un **DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)** modular se hizo realidad cuando se introdujeron múltiples grupos de servicios y múltiples longitudes de onda por grupo, por ejemplo estos DWDM transmitían 16, 32/40, 64/80/96 longitudes de onda con TDM a 2.5 Gbps y 10 Gbps. Pronto veremos **UDWDM (Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing)** con transmisión de 128 y 256 longitudes de onda y con TDM a 2.5 Gbps, 10 Gbps y 40 Gbps.

A modo de ejemplo podemos decir que con SONET estándar 1344 señales T1 pueden ser transmitidas por medio de un par de fibra, si en cambio utilizamos SONET con WDM tendremos 53760 señales T1.

Tres tecnologías facilitan la transmisión y uso de redes DWDM:

- Al incremento de efectividad de estas redes de DWDM contribuyen los **EDFA**(**Erbium Doped Fiber Amplifiers**),que son amplificadores de luz(operan entre 1525 y 1565 nm)que aumentan el espacio entre regeneradores,así se logra transmitir hasta 40 longitudes de onda a 10 Gbps cada una(OC-192/STM-64)con 80 a 90 Km entre EDFA.El desarrollo de nuevos EDFA que operen entre 1570 y 1610 nm y de amplificadores de Raman(con menos ruido que los EFDA) aumentaran al ancho de banda disponible.
- La aparición de **OADM**(**Optical Add and Drop Module**) abre WDM al uso en redes metropolitanas,actualmente los OADM soportan add/drop de 4 a 8 canales,muy pronto OADM ofrecerá cualquier numero de canales.
- Switches y enrutadores totalmente ópticos como los **OXC**(**Optical Cross Connect**),de los que ya hay prototipos de 64 x 64.

Podemos concluir que sin desmerecer la importancia de las tecnologías inalámbricas,la fibra óptica es el medio de transmisión masivo punto a punto que permite el desarrollo de las redes de comunicaciones,y que también en punto a multipunto su presencia es dominante,lo que se incrementará a corto plazo.

La tabla siguiente describe las tendencias en DWDM:

	1998	2000	2002
Fibra (material,fabricación,avances)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NZDSF ▪ Compensación de la dispersión 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fibra de dispersión manejada. ▪ Mejor compensación. ▪ Menores pérdidas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fibra multi-core ultra pequeñas ▪ Solitones
Transmisión (amplificador óptico,avances en láseres)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0.5 Tbps ▪ 2.5 gbps por λ ▪ DWDM 32 λ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1.5 Tbps ▪ 10 Gbps por λ ▪ DWDM 128 λ 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2.5 Tbps ▪ 40 Gbps por λ ▪ Solitones ▪ UDWDM 200+λ
Manejo del ancho de banda (IC,avances en componentes ópticos)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eléctrica ▪ Async.,SONET ▪ Interfaz < 10Gbps ▪ granularidad STS 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eléctrica,óptica ▪ Multiprotocolo, λ según ITU ▪ Interfaz hasta 10 Gbps. ▪ granularidad STS ▪ DCS 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Optica ▪ Multiprotocolo, λ según ITU ▪ Interfaz hasta 40 Gbps. ▪ granularidad STS-3c. ▪ Fast Swtching

TECNOLOGÍAS FAST PACKET

Hasta el presente hemos descripto: circuitos dedicados, circuitos conmutados, redes de difusión y redes de conmutación de paquetes, señalamos las limitaciones de cada uno y la necesidad de atender a: las características de tráfico(tipo ráfagas), a su temporalidad (voz y video),y a reducir overheads y períodos de latencia en la red(causados principalmente por mecanismos de detección y corrección de errores que se repiten a lo largo de la ruta).

Estas necesidades han conducido al desarrollo de **Fast Packet** es un concepto de interconexión hecho posible por la existencia de emisores y receptores más inteligentes y de enlaces digitales de alta velocidad muy confiables(con pocos errores, por ejemplo de fibra óptica). Bajo este concepto se acepta que puedan viajar, a través de la red, datos con errores(pero **no** direcciones erróneas)de cuya detección y corrección se ocuparán capas superiores.

Detrás del **concepto** de **Fast Packet**, que busca corregir los problemas de conmutación de paquetes en aplicaciones que requieren de operación en tiempo real, como voz y video, aparecen las tecnologías: **Frame Relay** y **Cell Relay**.

Con estas tecnologías se hacen posibles las **redes de banda ancha, ó broadband networks**, que son fundamentalmente(pero no siempre) redes de **servicios integrados**, y que al unir voz, video y datos, todos ellos bajo la forma digital, no solo requieren de altas velocidades(high speed networks ó gigabits networks)sino de una adecuación al tipo de servicio pues en voz y video estamos trabajando en tiempo real.

Como se señaló en la **Sección 7.1** tenemos dos grandes grupos de **tecnologías Fast Packet**, uno de **Frame Relay**, y el otro de **Cell Relay**.

Cada uno a su vez con dos grupos de **estándares**, en el primero: **LAP-F, Q-922 y LAP-D, Q.931**(en realidad **Q.921 y Q.933** también), que dan lugar a los **servicios**: tradicional **Frame Relay** y **ISDN-FR** respectivamente, y con dos grupos de **estándares** en el segundo: **DQDB 802.6 y ATM** que a su vez dan lugar a los **servicios SMDs(MAN) y B-ISDN T1S1(SONET)** respectivamente.

A continuación las describiremos bajo su nombre más común que a veces corresponde al estándar y otras al servicio.

8.3 Frame Relay (Retransmisión de Tramas) [7],[8],[9],[10].

8.3.1 Generalidades

Frame Relay es un protocolo de conmutación de paquetes que conecta dos redes LAN distantes mediante una red pública ó privada de conmutación de paquetes ó mixta (paquetes y celdas). Es usado para enrutar protocolos como TCP/IP, IPX, SNA con bajo costo utilizando las facilidades de las compañías de teléfonos. No es Internet pero puede facilitar una conexión de Internet a un proveedor de Internet.

Tradicionalmente la interconexión de LANs se hacía con líneas privadas o con circuitos conmutados lo que resulta costoso en términos número de puertos de alta velocidad,líneas muy largas,gran cantidad de switches y ancho de banda mal utilizado por las características de "ráfagas" del tráfico, Frame Relay tiene características distintas a las de otros protocolos que lo hacen ideal para interconectar LANs, configurando WANs de alta performance, también es de gran utilidad para conectar LANs con "backbones" que utilizan tecnologías Cell Relay(de allí lo de mixta).

Guarda similitud con X-25,protocolo de conmutación de paquetes que usa señalización dentro de la banda e incluye control de flujo y control de errores extremo a extremo y salto por salto, pero Frame Relay, que es también un servicio de transmisión de paquetes, aprovecha las características de las redes modernas, que tienen muchos menos errores, minimizando la cantidad de detecciones y correcciones de errores realizadas dentro de la red, logrando un retraso más bajo y un throughput más alto, por ello es más rápido y más simple.

Frame Relay es un protocolo de conmutación de paquetes que utiliza paquetes de longitud variable(que se denominan **tramas**),además emplea **multiplexión estadística** lo que permite a un enrutador central que recibe tráfico tipo ráfaga de varias LANs conectarse mediante un solo puerto con una sola conexión de alta velocidad con la red pública ó privada de conmutación de paquetes ó de celdas, tendremos entonces **múltiples transmisiones simultáneas** a diferentes sitios con un uso eficiente del ancho de banda dado por la multiplexión estadística.

Este protocolo fue diseñado originalmente para ser usado en interfases ISDN, así apareció en la recomendación I-122,reemplazada hoy por la I-233,que da las generalidades para ISDN y para servicios de transporte de portadores en modo trama, pero actualmente es utilizado es muchas otras interfases.

Otros estándares tales como el Q.921 se ocupan del Link Access Procedure-D ó LAP-D, que tiene que ver con el canal D de ISDN y es complementado por la Q.931 y 933 que se ocupan de la capa 3(LAP-D es un subconjunto del protocolo HDLC),dando lugar a **ISDN-FR**. La recomendación Q.922 se ocupa de procedimientos de acceso a enlace para servicios portadores en modo trama para tiempo real y cubre las capas 1 y parte de la 2,hablamos de LAP-D+ ó LAP-F, dando lugar a **Frame Relay**.

Las propuestas iniciales de estandarización de Frame Relay fueron presentadas al Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía(CCITT, hoy ITU-T)en 1984 como interfases de ISDN. El comité de normalización T1S1 de los Estados Unidos, acreditado por ANSI(American National Standards Institute)realizó parte del trabajo preliminar sobre Frame Relay, durante los 80 la falta de interoperabilidad y de una estandarización completa hizo que la aceptación de este protocolo fuese muy poca. En 1990 varias empresas estadounidenses(Cisco Systems,Digital Equipment, Northern Telecom, y StrataCom)formaron un consorcio para desarrollar Frame Relay, así lo hicieron extendiendo su capacidad de interconexión, estas extensiones se denominan LMI(Local Management Interface),muchas otras empresas adoptaron LMI, y finalmente ANSI y CCITT produjeron sus versiones de LMI, que son las utilizadas actualmente.

Por lo tanto Frame Relay es un estándar de ITU-T en todo el mundo y de ANSI en los Estados Unidos. Existe un tercer organismo, el Frame Relay Forum, una evolución del grupo de empresas mencionado, este organismo produce acuerdos(agreements) que son un tipo de estándares internacionales y de Estados Unidos que se adelantan a los de ITU-T y ANSI.

A continuación se detallan los estándares más importantes de estos tres organismos.

Estándares ITU-T

Standards ITU-T	Activities at the International Level
I.122	Framework for providing additional packet mode bearer services
I.233	Frame Relay Bearer Service description
Q.921-I.441	ISDN user-network interface(D-Channel)Layer 2 specification
Q.922	ISDN Data Link Layer Specification for Frame Mode Bearer Services
Q.933	DSS1-Signaling specification for Frame Mode Bearer Services

www.itu.ch

Estándares ANSI

ANSI Standards	Activities at the US National Level
T1 S1	Architectural Framework and Services Description
T1.602	Telecommunications ISDN Data Link Layer Signaling Specification
Ti.606	Frame Relay Bearer Service Description
T1.617	Signaling Specification for Frame Relay Bearer Service
T1.618	Core aspects of frame protocol for use with Frame Relay Bearer Service

www.ansi.org

Estándares del Frame Relay Forum

Frame Relay Forum	Activities at the US National and International Level
FRF-1	User-to-Network Implementation Agreement(UNI)
FRF-2	Network-to-Network Implementation Agreement(NNI)
FRF-3	Multiprotocol Encapsulation Implementation Agreement
FRF-4	User-to-Network SVC Implementation Agreement
FRF-5	Frame Relay ATM PVC Network Interworking Implementation Agr
FRF-6	Frame Relay Service Customer Network Manager Implementation Agr.(MIB)
FRF-7	Frame Relay PVC Multicast Service and Protocol Description Implement.Agr.
FRF-8	Frame Relay/ATM PVC service Internetworking Implementation Agreement
FRF-9	Data Compression Over Frame Relay Implementation Agreement
FRF-10	Frame Relay Network-to-Network SVC Implementation Agreement
FRF-11	Voice over Frame Relay Implementation Agreement
FRF-12	Frame Relay Fragmentation Implementation Agreement

www.frforum.com

Frame Relay es un protocolo cuya velocidad varía desde 56/64 Kbps hasta T1/E1(1.544/2.048 Mbps),incluso llegando a T3/E3(45 Mbps)(High Speed Frame Relay),por sus características se utiliza **casi exclusivamente para datos**, aunque existe el acuerdo FRF-11 del Frame Relay Forum relativo a voz sobre Frame Relay.

8.3.2.-El protocolo Frame Relay.

El Servicio Portador de Frame Relay(**FRBS,Frame Relay Bearer Service**)proporciona un servicio **orientado a conexión** en la capa de enlace(o sea es de Capa 2 y ni siquiera implementa todas las funciones de capa 2, mientras que la conmutación de paquetes tradicional funciona en capa 3) con las siguientes propiedades:

- ◆ Preservación del orden de transferencia de la trama de un extremo de la red al otro.
- ◆ Tramas no duplicadas.
- ◆ Poca probabilidad de pérdida de la trama.

El acceso del usuario al FRBS es por medio de una interfaz denominada DTE(Data Terminal Equipment),ubicada en su extremo y propiedad del mismo, ejemplos de DTE son terminales , PCs, multiplexores, enrutadores, puentes, PAD(Packet Assembler Disassembler), etc que se conectan a los DCE(Data Circuit terminating Equipment), que son dispositivos de interconexión propiedad del prestatario del servicio cuyo propósito es proveer servicio de reloj y de conmutación(switching),son los dispositivos que transmiten los datos en la WAN, generalmente son switches de circuitos, de paquetes, o de celdas .La **Figura 8.13a** muestra los dos tipos de dispositivos.

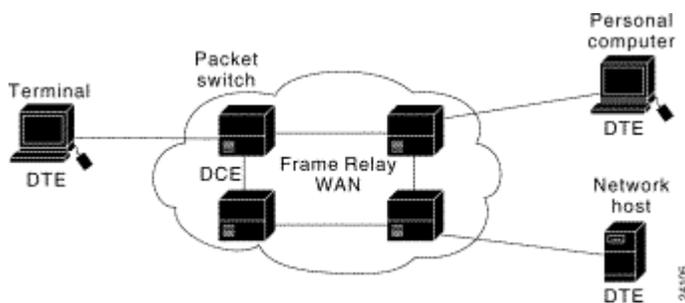


Figura 8.13a.DTE y DCE en FRBS

La conexión entre un dispositivo DTE y otro DCE consiste de componentes de la capa física y de componentes de la capa de enlace.

El componente físico define las especificaciones mecánicas, eléctricas, funcionales y de procedimiento entre los dispositivos, una de las interfaces de capa física más utilizadas es la RS-232, otras son V.35, DB-15, RJ-45, RJ-449 y HSSI.

El componente de capa de enlace define el protocolo FRBS, que establece la conexión entre el dispositivo DTE (como un enrutador) y el dispositivo DCE (como un switch).

Otra nomenclatura muy usada es la de **Figura 8.13b**, allí se observa que dos redes LAN están interconectadas mediante un enlace Frame Relay, de izquierda a derecha, compuesto por un Frame Relay Access Equipment (DTE) (algunos autores los llaman Frame Relay Access Devices y se confunden con un tipo específico de DTE, los FRADs que se describen enseguida), generalmente se trata de un enrutador, un multiplexor, un puente ó un **FRAD** (Frame Relay Assembler Disassembler, que es básicamente un PAD que convierte ó recupera los datos en ó de tramas Frame Relay).

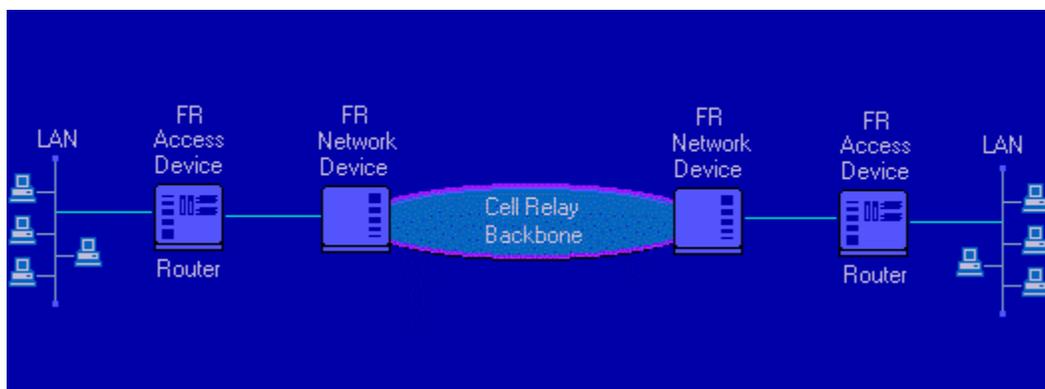


Figura 8.13b. Implementación típica de Frame Relay

- Los enrutadores son generalmente versátiles ya que normalmente pueden manejar otros protocolos WAN. Pueden redirigir conexiones si una línea se cae y algunos soportan control de flujo y control de congestión. Pueden traer una tarjeta de adaptación y software de FR, lo que constituye un "puerto de FR".
- Los multiplexores, que pueden traer tarjetas similares, reciben tráfico de varias LANs.
- Los puentes son básicamente enrutadores económicos y poco inteligentes, son fáciles de configurar y mantener. No se usan tan a menudo como los enrutadores en redes FR.
- Los **FRAD** (Frame Relay Assembler Disassembler) son diseñados para agregar y convertir datos a paquetes ó tramas FR y no dirigen tráfico, trabajan bien si un sitio ya tiene puentes o enrutadores (ó multiplexores) sin tarjeta. Son por lo tanto equipos CSU/DSU cuyas funciones fueron descritas en la **Sección 7.2.1**.

Sigue un enlace físico y un FR Network Device (DCE, generalmente un switch ó **FRS** Frame Relay Switch), allí se transmite la trama (ó paquete) mediante un backbone de Cell Relay (que se describirá al ver ATM), luego sale la trama a través de un enlace Frame Relay compuesto de FR Network Device, se transmite mediante un enlace físico, llega a un FR Access Device y de allí a la otra LAN.

Esta mezcla de enlaces Frame Relay entre el usuario y el backbone, y entre este y el otro usuario es típico de la utilización de Frame Relay. Sin embargo en vez del backbone de Cell Relay puede haber una red de conmutación de paquetes pura de Frame Relay como se veía en la **Figura 8.13a**. Por otra parte el Frame Relay Access Device (DTE) a veces está ubicado en las oficinas del

prestatario del servicio FR, que se denominan POP(Point Of Presence)del prestatario y hay una conexión(por ejemplo RS 232) entre el usuario y el DTE.

El Frame Relay Access Device, el enlace físico y el Frame Relay Network Device se engloban bajo el nombre UNI(User Network Interface), ver **Figura 8.14**.

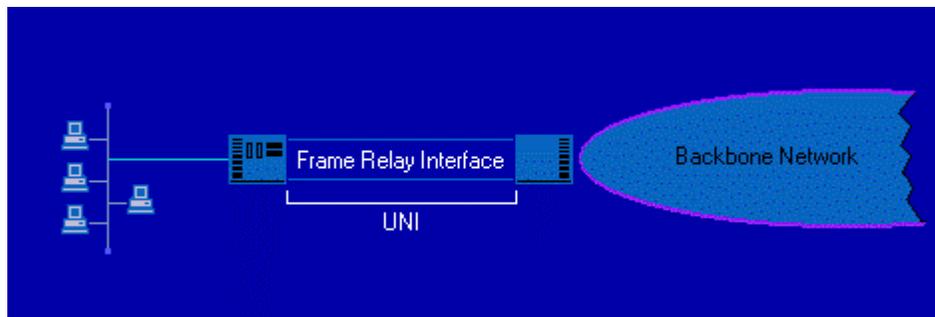


Figura 8.14. User Network Interface(UNI).

Por otra parte los dos DCE que se interconectan entre sí, como mostró la **Figura 8.13a**, y el respectivo enlace físico se denominan NNI(Network Node Interface).

8.3.3.-Circuitos virtuales de Frame Relay.

Frame Relay suministra una comunicación a nivel de capa de enlace **orientada a conexión**. Eso significa existe una comunicación definida entre cada par de dispositivos y que esa conexión está asociada a un **identificador de la conexión**. Este servicio es implementado usando un **Circuito Virtual de Frame Relay**, que es una conexión lógica entre dos equipos terminales de datos(DTE) a través de una red de conmutación de paquetes(PSN) de Frame Relay.

Los circuitos virtuales proveen un canal de comunicación **bidireccional** de un DTE a otro y son unívocamente identificados por los **Data Link Connection Identifier(DLCI)**.

Varios circuitos virtuales pueden ser multiplexados en un solo circuito físico que se denomina acceso troncal("access trunk"), tal como se muestra en la **Figura 8.15**, para la transmisión a través de la red. Esta capacidad frecuentemente reduce la complejidad en equipos y red cuando deben conectarse varios dispositivos DTE.

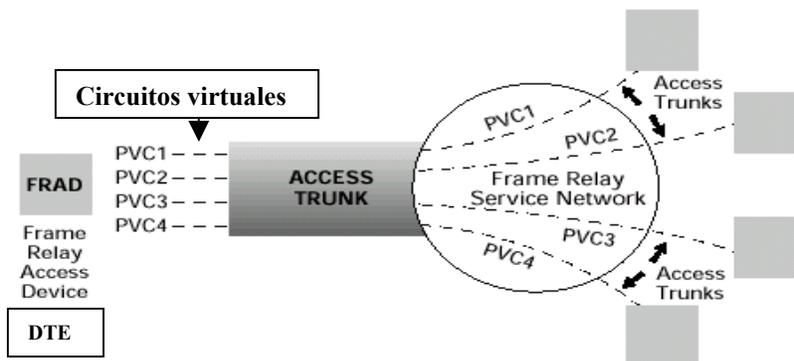


Figura 8.15. Varios circuitos virtuales son multiplexados en un solo circuito físico.

Un circuito virtual puede pasar a través de cualquier número de dispositivos DCE(switches) que conforman la red de conmutación de paquetes(PSN) de FR.

Los circuitos virtuales de Frame Relay pueden ser de dos tipos: **Permanent Virtual Circuits (PVCs)** y **Switched Virtual Circuits (SVCs)**.

Los **circuitos virtuales permanentes (PVCs)** son, como su nombre lo indica, conexiones establecidas permanentemente que son utilizadas para transmisiones de datos frecuentes y consistentes entre dispositivos DTE a través de una red FR.

La comunicación mediante un PVC no requiere establecimiento ni terminación de la conexión que si son requeridos en SVCs.

PVCs siempre operan en dos estados:

- *Transferencia de datos*: se transmiten los datos entre los DTE a través del circuito virtual.
- *En espera*: la conexión entre DTEs está activa, pero no hay datos transferidos. El PVC no será terminado bajo ninguna circunstancia por el hecho de estar en espera. Los DTE pueden transferir datos cuando lo deseen pues el circuito está permanentemente establecido.

Los **circuitos virtuales conmutados (SVCs)** son conexiones temporales utilizadas en situaciones donde solo hay transferencias de datos esporádicas entre DTEs, una sesión de SVC puede estar en uno de los siguientes cuatro estados operacionales:

- *Call Setup*: se establece un circuito virtual entre dos dispositivos DTE de FR.
- *Data Transfer*: se transmiten datos entre los dispositivos DTE sobre el circuito virtual.
- *Idle*: la conexión entre los dispositivos DTE está activa, pero no hay transferencia de datos. Si un circuito SVC permanece en este estado por un período determinado, la llamada es terminada.
- *Call termination*: la conexión virtual entre los DTEs es finalizada.

Luego que un circuito virtual es terminado los DTE deben establecer un nuevo SVC si hay más datos a ser transmitidos. Se espera que los SVCs sean establecidos, mantenidos y terminados por los mismos protocolos de señalización de ISDN, sin embargo pocos fabricantes de equipos de FR soportan conexiones SVC y por ello pocas redes FR lo utilizan, aunque su uso esta creciendo.

Los **identificadores de la conexión de datos**, conocidos como **DLCIs** son valores asignados usualmente por la empresa que suministra el servicio de Frame Relay (si se usa ese tipo de red), por ejemplo la empresa telefónica, **los DLCI de FR solo tienen significación local**, lo que quiere decir que estos valores no son únicos en una WAN de FR. Dos dispositivos DTE conectados por un circuito virtual pueden usar diferentes DLCI para referirse a la misma conexión ya que en cada extremo el DLCI puede ser distinto, ver **Figura 8.16**.

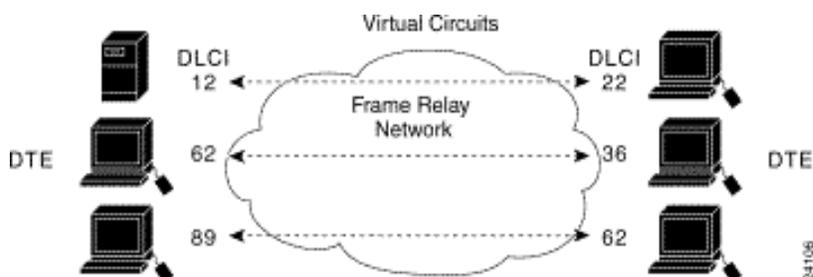


Figura 8.16. DLCIs diferentes en cada extremo a pesar de pertenecer al mismo circuito virtual.

8.3.4.-Transmisión de datos entre usuarios finales.

Para la transmisión de los datos entre usuarios finales, el protocolo usado es Q.922, que es una versión mejorada de LAPD y solo las funciones principales de Q.922 se usan para Frame Relay:

- ◆ Delimitación de la trama, alineación y transparencia(usando banderas HDLC).
- ◆ Multiplexaje y Demultiplexaje de la trama usando el campo de dirección.
- ◆ Alineación de los límites de la trama.
- ◆ Inspección de la trama para asegurar que no es demasiado larga ni demasiado corta.
- ◆ Detección de errores de transmisión usando una sucesión de verificación de la trama(FCS).
- ◆ Funciones de control de congestión.

La señalización se hace usando LAPD confiable.

Los nodos de conmutación no realizan ningún tipo de corrección de errores, aunque pueden detectar paquetes corruptos, que son descartados tras su detección.

Cuando se establece el servicio con un proveedor, algunas de las características que se establecen para el PVC son:

- *Velocidad de acceso ó Caudal de la línea.* Es la velocidad de la línea, **Cf** en bps, a la que se enviarán los datos, ya dijimos que en Estados Unidos es típico 1.554 Mbps(T1) ó 56 Kbps, esta velocidad se contrata con el proveedor del servicio.
- *Velocidad de información acordada.(CIR, Committed Information Rate),CIR* es la velocidad media máxima de transmisión en un circuito de Frame Relay en bps. Es normalmente menor que la velocidad de acceso: las transmisiones pueden exceder la cifra CIR durante ráfagas cortas de datos.
- *Tamaño de ráfaga acordado(CBS, Committed Burst Size).* CBS, llamada **Bc**, es la máxima cantidad de datos, en bits, que el proveedor acuerda transferir bajo condiciones normales de trabajo en la red durante un intervalo de tiempo **Tc**.
- *Tamaño de ráfaga en exceso (EBS, Excess Burst Size)ó Be* es la máxima cantidad de datos no validados, en bits, en exceso de **Bc** que la red intentará enviar durante un intervalo de tiempo. EBS recibe un tratamiento de descarte selectivo por parte de la red.
- *Committed rate measurement interval.Tc*, es el intervalo de medición(en segundos).

Obviamente es
$$Bc = CIR * Tc$$

La **Figura 8.17** muestra el volumen, ó caudal, de información de la línea $Cf * Tc$, el tamaño de ráfaga acordado Bc y el tamaño de ráfaga en exceso Be . Como se dijo el CIR y Be se contratan con el proveedor del servicio al establecerse la conexión y corresponden al intervalo de medición del equipo manejador de Frame Relay, este utiliza un contador acumulativo de los datos enviados en cada conexión entre To y $To + Tc$.

- ▶ Si en un instante de tiempo dentro de ese intervalo el acumulado alcanza Bc , a las tramas sucesivas se las marca como **descartables** (se les coloca un bit de la trama llamado DE en uno ya se aclaró esto).
- ▶ Si se excede $Bc + Be$ todas las tramas siguientes **son descartadas**.
- ▶ Al llegar a $To + Tc$ el contador se **resetea** y proceso comienza de nuevo.

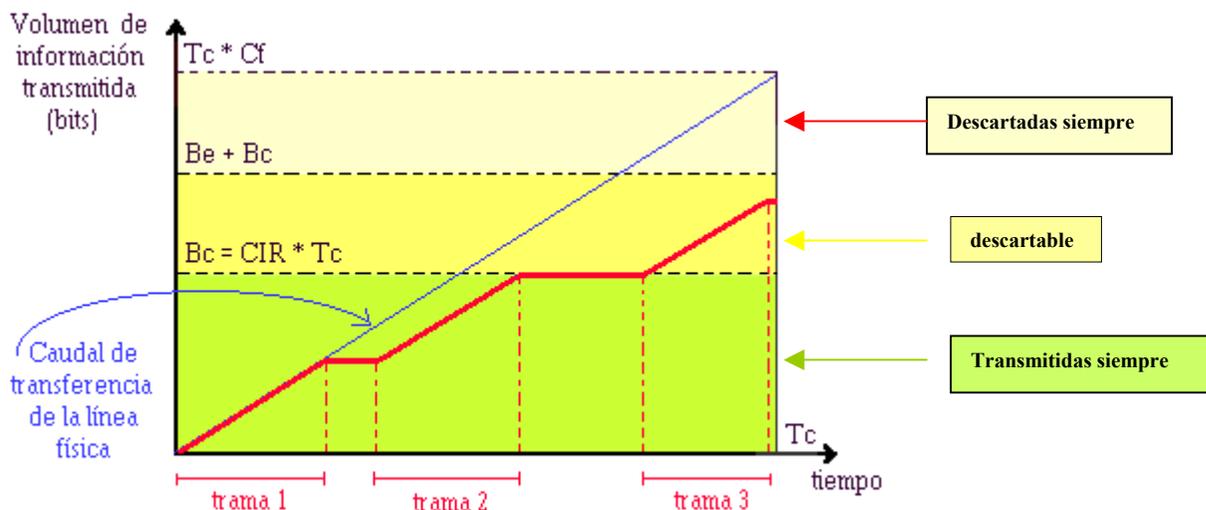


Figura 8.17. Caudal, tamaño de ráfaga acordado y tamaño de ráfaga en exceso

8.3.5.-Redes públicas y redes privadas.

Es posible escoger entre un servicio de Frame Relay público ó una red privada.

Los portadores públicos son una alternativa normalmente más eficaz, pues las empresas cuentan con personal calificado y entrenado que instalan el servicio rápida y eficientemente. Son además menos costosos inicialmente pues solo se necesita una única línea dedicada (alquilada) y un DTE (enrutador, puente, FRAD, etc), es claro que hay un cargo por el servicio que depende de los parámetros descritos en la **Sección 8.3.4**.

En las redes privadas es necesario comprar, además de lo que requiere una conexión a una red pública, conmutadores (switches) para el backbone ó se puede agregar una tarjeta Frame Relay a un multiplexor, sobre todo si se usan multiplexores para segmentar el tráfico de las líneas arrendadas.

8.3.6.- Control de congestión.

Frame Relay reduce el overhead mediante la implementación de mecanismos simples de notificación de congestión, FR se implementa sobre redes confiables y por ello el mecanismo de control de flujo se deja para **los protocolos de capas superiores**.

En Frame Relay se implementan dos mecanismos de notificación de congestión:

- Forward-explicit congestion notification (FECN), o sea notificación hacia delante explícita de congestión.
- Backward-explicit congestion notification (BECN), o sea notificación hacia atrás explícita de congestión.

FECN y BECN son cada una controladas por un solo bit en el encabezado de la trama Frame Relay.

El bit de FECN es parte del campo de dirección(Address Field) en el encabezado. El mecanismo FECN se inicia cuando un DTE envía tramas FR a la red, si esta está congestionada, los dispositivos DCE(switches) colocan el bit FECN de las tramas en 1, cuando la trama llega al DTE de destino su bit FECN indica que la trama sufrió congestión en el camino, el DTE pasa esa información al protocolo de más alto nivel para que la procese, según cual sea la implementación puede iniciarse control de flujo ó ignorarse el aviso.

El bit BECN es parte del campo de dirección(Address Field) en el encabezado, los dispositivos DCE ponen en 1 ese bit en las tramas viajando en la dirección opuesta a la de las tramas con su bit FECN en 1. Esto informa al DTE que recibe esas tramas que ese camino en particular esta congestionado, el DTE pasa esa información al protocolo de más alto nivel para que la procese, según cual sea la implementación puede iniciarse control de flujo ó ignorarse el aviso.

En el encabezado existe otro bit denominado: Frame Relay **D**iscard **E**ligibility (**DE**), que se usa para indicar que la trama tiene menor importancia que otras tramas, por lo que es descartable en caso de congestión, este bit es fijado por los dispositivos DTE por indicación del cliente. Las tramas descartadas serán retransmitidas por los protocolos superiores cuando la red no esté congestionada.

Frame Relay utiliza el mecanismo de control de errores conocido como CRC, y solo hace detección de errores y no su corrección(con lo que reduce el overhead). Como Frame Relay funciona en entornos confiables se deja la corrección de errores a los protocolos de mayor nivel montados sobre FR.

8.3.7.-Local Managment Interface(LMI).

LMI ó interfaz local de manejo, son una serie de mejoras en la especificaciones básicas de Frame Relay. Como se dijo fue desarrollada en 1990 por Cisco Systems, StrataCom, Northern Telecom y Digital Equipment Corporation, y luego adoptada(en sus versiones)por ANSI e ITU-T.

Esta extensión de Frame Relay llamada LMI permite:

- *Global addressing*, da al DLCI valores globales en lugar de locales, con lo que los valores DLCI se convierten en direcciones **únicas** de los DTE. Esto da funcionalidad y manejabilidad a las redes pues permite que interfaces individuales sean identificadas usando técnicas de resolución de direcciones estándares.
- *virtual-circuit status messages*, son mensajes que suministran comunicación y sincronización entre dispositivos DTE y DCE, estos mensajes se usan para reportar periodicamente el estado de los PVCs, lo que evita que los datos caigan en "agujeros negros"(esto es: buscando PVCs que ya no existen).
- *Multicasting*, permite grupos de difusión, lo que ahorra ancho de banda pues permite enviar información de enrutamiento y de resolución de direcciones solo a grupos específicos de enrutadores. También permite enviar mensajes de actualización sobre el estado de grupos multicast y da la posibilidad al usuario enviar tramas a múltiples destinos.
- *Control simple de flujo*. Este servicio **opcional** proporciona el mecanismo de control de flujo XON/XOFF a los dispositivos que requieran control de flujo.

8.3.8.-Formatos de las tramas de Frame Relay.

Para entender mucha de la funcionalidad de Frame Relay es necesario observar cuidadosamente el formato de las tramas, comencemos por la **Trama Estándar de Frame Relay**, que se muestra en la **Figura 8.18**.

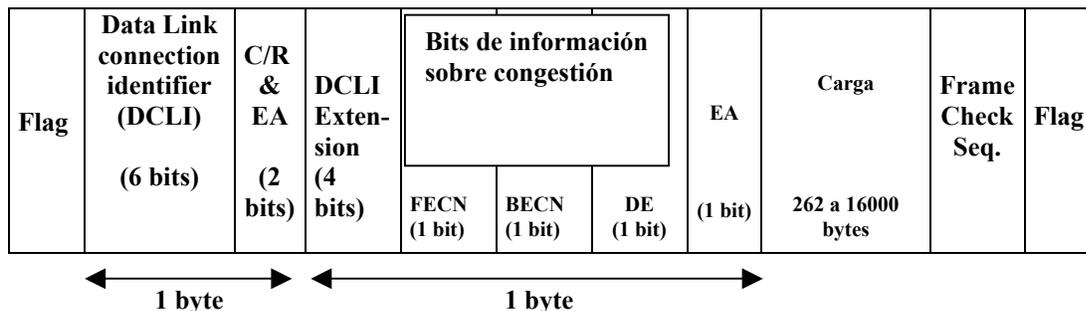


Figura 8.18.Trama estándar de Frame Relay.

- ❑ *Flag*, es la bandera de inicio y de final de la trama, o sea una secuencia de bits definida, 01111110, que delimita la trama.
- ❑ *DLCI*, campo de 10 bits (dividido en dos trozos) que identifica en canal virtual al que pertenece la trama. El mostrador es un formato de dos bytes (que allí se identifican), existen formatos de tres y cuatro bytes que aumentan el número de bits para DLCI.
- ❑ *C/R*, es la bandera comando/respuesta usada en control de flujo local.
- ❑ *EA*, es utilizado para indicar, cuando está en 1, que el byte en que tiene ese valor es el último octeto de DLCI. La mayoría de las implementaciones usan DLCI de dos octetos, sin embargo en el futuro los tres y cuatro bytes mencionados pudieran utilizarse..
- ❑ *Congestion Information Bits*, son los bits FECN, BECN y CE ya descritos.
- ❑ *Carga ó Payload*, cantidad variable de bits (entre 262 y 16000 bytes), el máximo será determinado por el proveedor del servicio, contiene un indicador de longitud. Dentro de esta carga pueden ir datos de protocolos como X.25, TCP/IP, SNA, Ethernet, Token Ring...etc, Frame Relay es entonces un protocolo de transporte extremo a extremo.
- ❑ *FRS*, Frame Check Sequence es la detección de errores mediante CRC, utilizada para validar la trama mientras se desplaza, si la validación es negativa la trama es descartada.

Obsérvese que la trama no contiene ni dirección de origen, ni dirección de destino, esto se debe a que esas direcciones fueron especificadas durante la instalación de PVC, el resultado es el DLCI que identifica en canal virtual (VC).

8.3.9.-Beneficios de Frame Relay.

Frame Relay utiliza mejor el ancho de banda debido a su multiplexaje estadístico y su bajo overhead, como consecuencia de esto el usuario observa los siguientes beneficios:

- ❖ *Costo reducidos de InterRedes*, el multiplexaje del tráfico de muchas fuentes sobre backbones reduce el número de circuitos el multiplexaje de varias conexiones lógicas sobre una sola conexión física disminuye los costos de acceso. Todo ello implica ahorros en equipos y en circuitos físicos.
- ❖ *Incremento del rendimiento con poca complejidad de la red*, reduciendo la cantidad de procesos (corrección errores salto a salto, etc) y utilizando eficazmente las líneas de transmisión de alta velocidad, se mejora el rendimiento y tiempo de respuesta de las aplicaciones.
- ❖ *Mayor interoperabilidad usando estándares internacionales*, puede emplear tecnologías ya existentes, modificaciones de software o de hardware simples permiten soportar la interfaz estándar. Equipos de conmutación de paquetes y multiplexores T1/E1 ya existentes pueden actualizarse para soportar FR sobre backbones de redes ya existentes.
- ❖ *Independencia del protocolo*, como ya se dijo FR permite combinar tráfico diverso de redes, como ser: IP, IPX, y SNA.

8.4.-Q.931 ó ISDN Frame Relay.

En las secciones anteriores se describió el Frame Relay más utilizado que es el correspondiente a la recomendación Q.922(LAP-F) del ITU-T, el que nace de Q.921, Q.931 y Q.933(LAP-D) da lugar a ISDN-Frame Relay.

No nos detendremos mucho en este último, solo presentaremos las funciones de LAP-D y LAP-F, **Figura 8.19**, y su vinculación con el modelo OSI, **Figura 8.20**.

Funciones de LAP-D	Funciones de LAP-F
<input type="checkbox"/> Framming	<input type="checkbox"/> Framming
<input type="checkbox"/> Detección de errores	<input type="checkbox"/> Detección de errores
<input type="checkbox"/> Recuperación de errores	<input type="checkbox"/> Recuperación de errores
<input type="checkbox"/> Control de flujo	<input type="checkbox"/> Control de flujo
<input type="checkbox"/> Frame Acknowledgent	<input type="checkbox"/> Frame Acknowledgent
<input type="checkbox"/> Multiplexaje de Circuito Virtual.	<input type="checkbox"/> Multiplexaje de Circuito Virtual.

Figura 8.19. Comparación entre las funciones de LAD-D y LAP-F, las señaladas en amarillo no están presentes en LAP-F.

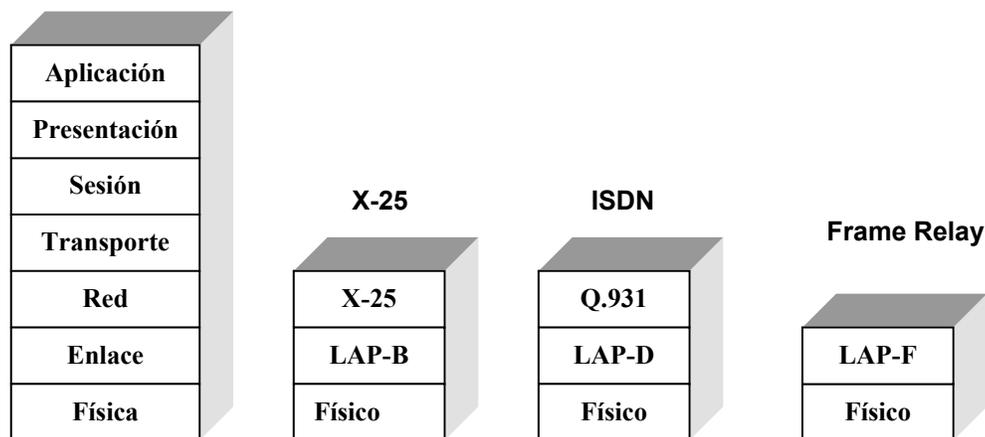


Figura 8.20.El modelo OSI y su correspondencia con X-25,ISDN y Frame Relay

Se observa que LAP-F abarca solo la capa 2(en realidad parte de ella) con lo que Frame Relay está en las dos capas inferiores, mientras que ISDN(ISDN-FR) se extiende hasta la capa 3.

8.5.-El estándar DQDB 802.6[26] y el servicio SMDS(MAN)[24][25].

8.5.1.-Introducción.

DQDB(Dual Queue Dual Bus) es el estándar 802.6 de IEEE para **MAN(Metropolitan Area Network)**,sobre el que esta basado el servicio **Cell Relay** denominado **SMDS (Switched Multi-megabit Data Service)**.

SMDS es un servicio de conmutación de paquetes basado en **datagramas** tipo **celdas**,esto es de **longitud fija**,diseñado para redes WAN de alta velocidad.

SMDS en Estados Unidos es descrito por una serie de especificaciones de Bell Communications Research (Bellcore) emitidas en 1989 y que ofrece velocidades entre:n*56 Kbps, 1.544 y 45 Mbps.

En Europa este servicio es parte del **CDBS(Connectionless Broadband Data Service)**, estándar de **ETSI(European Telecommunications Standards Institute)**,que incluye **ATM** y **DQDB**. SMDS en Europa ofrece velocidades entre:n*64 Kbps,2.048 y 34 Mbps.Ambos estándares son muy similares,pero emplean terminologías distintas.

SDMS es instalado en redes públicas por la compañías telefónicas respondiendo a dos tendencias,la primera es existencia de máquinas de extremo con mayor capacidad de procesamiento y que requieren de interconexiones de alta calidad,la segunda es el costo decreciente de los medios físicos de banda ancha(como la fibra óptica)que permiten soportar este tipo de aplicaciones en WANs.

Las interconexiones de alta calidad se refieren no solo a alta velocidad sino también a calidad del servicio(QOS),que tiene en cuenta parámetros como:disponibilidad del servicio,tasas de error,demora,etc,basados en la recomendación ITU-T X.140.Como SMDS es un servicio de conmutación de paquetes basado en datagramas no es adecuado para aplicaciones como voz y video y si lo es para datos.Sin embargo por tratarse de celdas y no paquetes de longitud variable se está trabajando en aplicaciones sensibles a demora como las mencionadas.

Es un protocolo transparente, cuya escala puede ser modificada para manejar redes muy grandes, y aunque sus celdas son de la misma longitud que las de ATM (Asynchronous Transfer Mode) no son iguales, sin embargo muchos consideran a SMDS como un paso previo a ATM y esta siendo colocado como la parte sin conexiones de los servicios de ATM.

8.5.2.-Componentes de la red SMDS.

La red SMDS tiene varios elementos que proveen el servicio de datos de alta velocidad. Estos incluyen: **Customer Premises Equipment (CPE)**, carrier equipment, y el **Subscriber Network Interface (SNI)**.

CPE es el equipo terminal, normalmente propiedad del cliente y mantenido por él, ejemplos de CPE son terminales, computadoras personales, y nodos intermedios como enrutadores, modems y multiplexores. En ciertas circunstancias los nodos intermedios son suministrados por el proveedor de SMDS.

El "carrier equipment" ó equipo del **portador del servicio** (proveedor de SMDS) generalmente consiste de switches WAN de alta velocidad que deben cumplir con especificaciones muy precisas que definen operaciones de la red, la interfase entre la parte local del portador y la parte de larga distancia, y la interfase entre dos switches dentro de una misma red portadora.

SNI es la interfase entre el CPE y el "carrier equipment" que está situada en el punto en el que la red del cliente finaliza y comienza la del portador, la función de SNI es hacer que la tecnología y operación de la red SMDS del portador sea transparente al usuario. La **Figura 8.21** muestra la ubicación de SNI.

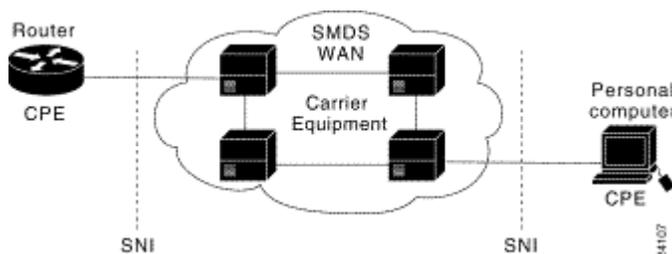


Figura 8.21. Interfase ente el CPE y el carrier equipment.

La interfase SNI tiene **dirección SMDS** y una especificación lógica que es el protocolo entre el CPE y el "carrier equipment" denominado **SMDS Interfase Protocol (SIP)**

8.5.3.-Direcciones en SMDS.

La interfase SNI se identifica con una **dirección SMDS**. En una localidad pueden ser configuradas direcciones adicionales para identificar redes LAN u otros usuarios. Cada SNI puede soportar hasta 16 direcciones individuales.

Como todos los protocolos tipo datagrama las unidades de datos de SMDS llevan la dirección de origen y la de destino, el receptor de la unidad de datos puede usar la dirección de origen para responder ó para funciones como resolución de direcciones (descubriendo la relación entre las direcciones de capas superiores y las direcciones de SMDS). Las direcciones SMDS son de 10 bits y recuerdan la numeración telefónica, así como los números telefónicos contienen el código del país, el código de área y el número del suscriptor.

El formato de dichas direcciones es el de ITU-T E.164, el cual es una dirección de 64 bits, de ellos los primeros cuatro dan el **tipo** de dirección y pueden ser 1100 ó 1110, el primero indica que los siguientes 60 bits corresponden a una dirección individual, el segundo indica que

corresponden a una dirección de grupo, con funciones similares a las de multidifusión de la red LAN y es muy útil para interconectar redes pues se usa para resolver direcciones en enrutamiento, descubrir recursos de la red (como servidores de archivos), etc. Los siguientes 40 bits contienen el valor en BCD de la dirección SMDS de 10 bits, los restantes 16 bits (los menos significativos) tienen todos un relleno de 1s.

Tanto el formato de las direcciones individuales como el de las grupales es consistente con el North American Numbering Plan (NANP).

8.5.4. SIP (SMDS Interface Protocol) ó Protocolo de Interfase de SMDS.

El protocolo SIP está basado en el protocolo DQDB IEEE 802.6 y usando ese protocolo los CTE (enrutadores, etc) se conectan con la red SMDS y usan sus servicios para interconexiones de alta velocidad. DQDB fue escogido porque es un estándar abierto que soporta todos los servicios de SMDS, además DQDB fue diseñado para asegurar compatibilidad con los estándares de transmisión usuales y con estándares emergentes de BISDN, que le permitieran interaccionar con servicios de voz y video. La **Figura 8.22** ilustra la función de SIP.

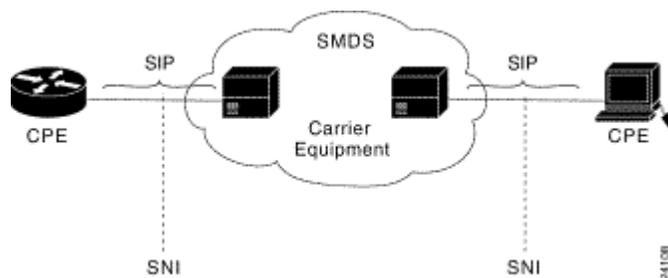


Figura 8.22. SIP asegura un servicio sin conexión entre CPE y el "carrier equipment".

SIP consiste de tres niveles, **SIP nivel 3** opera en la subcapa MAC de la capa de red del modelo OSI, **SIP nivel 2** opera en la subcapa MAC de la capa de enlace y **SIP nivel 1** opera en la capa física, la **Figura 8.23** nos muestra como SIP encaja dentro del modelo OSI.

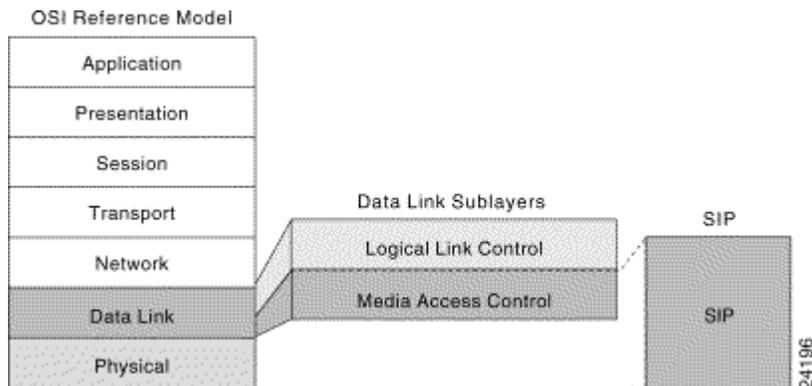


Figura 8.23. SIP suministra servicios asociados con la capa física y la capa de enlace del modelo OSI.

El nivel 3 de SIP comienza a operar cuando la información del usuario, individual o LAN, con un máximo de 9188 octetos, que permite acomodar los paquetes de Ethernet, Token Ring, FDDI, etc., se pasa al nivel 3 de SIP bajo la forma de una unidad de datos de SMDS, llamada **SMDS SDU (Service Data Units)**. Estas SMDS SDU son encapsuladas con el encabezamiento y la cola del SIP nivel 3, dando lugar a una trama denominada **Level 3 PDU (Protocol Data Unit)** o sea unidad de datos del protocolo del nivel 3 que será pasada al nivel 2. El encabezado lleva las direcciones de destino y de origen, ver **Figura 8.24**.

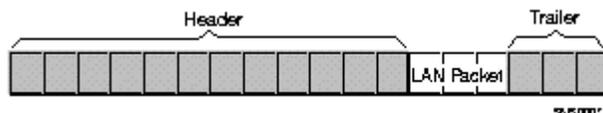


Figura 8.24 PDU nivel 3 de SMDS.

El nivel 2 de SIP opera en la subcapa MAC de la capa de enlace (capa 2) y comienza a funcionar cuando recibe las PDU del nivel 3. **SIP Level 2** segmenta esas PDU en unidades o **celdas** de longitud fija con 53 octetos, de los cuales 44 son de datos y los otros incluyen CRC, etc., dando lugar a las denominadas **Level 2 PDUs**. Estas celdas pasan al nivel 1 de SIP para que sean introducidas en el medio físico.

El nivel 1 de SIP opera en la capa física y provee el protocolo de capa física, a velocidades DS-1 ó DS-3, que enlaza entre los CPE y el "carrier equipment", consiste de dos subcapas, la **transmission system sublayer** y la subcapa **PLCP (Physical Layer Convergency Protocol)**.

La **transmission system sublayer** define las características y el método de conexión con el enlace DS-1 ó DS-3. **PLCP** especifica como las celdas SIP de nivel 2 son combinadas para formar las tramas de DS-1 ó DS-3. **PLCP** también define otra información de manejo.

Los niveles de SIP se muestran en la **Figura 8.25**

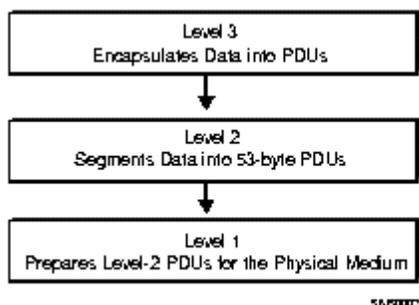


Figura 8.25. Niveles de SIP

8.5.5.- Unidades de datos de nivel 3 y 2.

La **Figura 8.26** muestra la PDU del **nivel 3** de **SIP** que consiste de 15 campos y la **Figura 8.27** lo hace con la PDU del **nivel 2** de **SIP** que consiste de 7 campos.

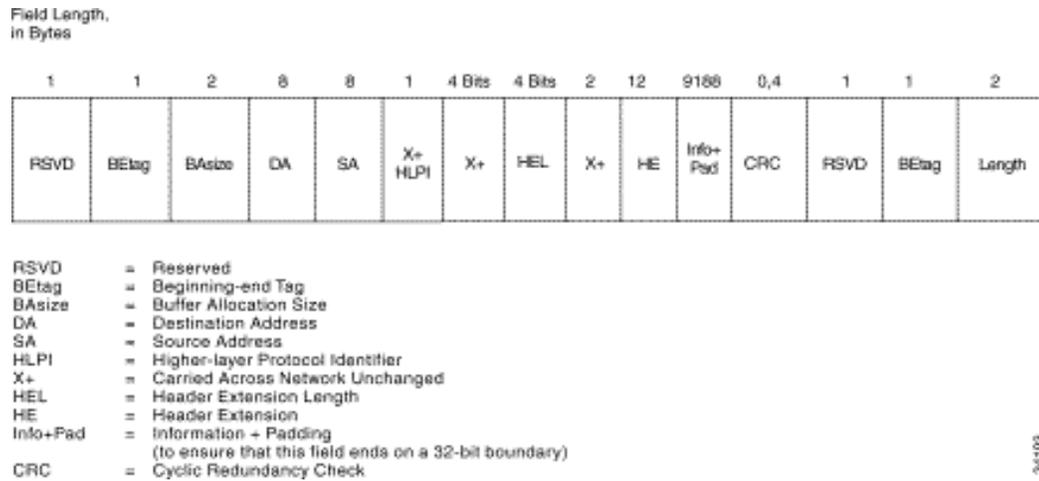


Figura 8.26.PDU del nivel 3 de SIP.

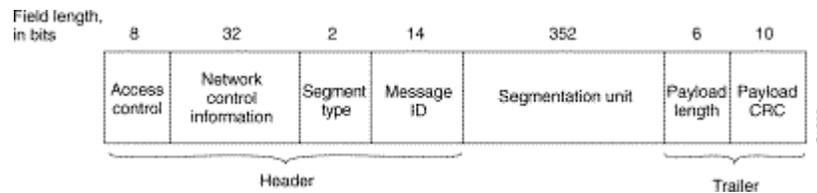


Figura 8.27. PDU del nivel 2 de SIP.

No se describiran cada uno de los campos pues no se desea ese nivel de detalle, los interesados pueden verlo en la Referencia [25].

8.5.6.-Tipos de acceso.

Debido a que el tráfico de datos y los equipos de redes son diferentes para cada cliente de SMDS, SMDS define algunas clases o tipos de acceso. Los tipos de acceso son velocidades en la cual viajan los datos desde el sitio de un cliente hasta el switch de la red. SMDS corrientemente define 6 clases de acceso a la red: 1.2Mbps, 4Mbps, 10Mbps, 16Mbps, 25Mbps y 34Mbps. La clase 1.2Mbps es para líneas T1 (canal de 1.54Mbps). Las clases de 4Mbps hasta 34Mbps son para líneas T3 (canal de 44.736Mbps) y se denominan **Clases 1 a 5**. SMDS también ofrece clases de acceso de baja velocidad, los cuales operan a una fracción de velocidades T1/E1 (56Kbps hasta 64Kbps). Los valores 4, 10 y 16 Mbps son para adecuarse a los diferentes tipos de LANs.

SMDS implementa un sistema de **crédito** para hacer cumplir los límites de cada clase. Los "carrier equipment" descartan el tráfico de un suscriptor si este no tiene crédito suficiente para la clase de servicio requerido. Un nodo comienza con un cierto **crédito abierto**, el balance de ese crédito disminuye a medida que el usuario transfiere datos. Siempre y cuando ese balance no sea negativo la transmisión es aceptada, cuando el crédito es insuficiente el nodo debe aguardar un tiempo hasta acumular suficiente crédito. Si un usuario envía tráfico tipo ráfaga, puede acumular crédito durante lapsos de poca actividad para consumirlos cuando hay una ráfaga.

8.5.7.-Protocolo para la interfase de intercambio de datos ó DXI(Data Exchange Interface).

Para las diferentes clases de acceso de alta velocidad en SMDS, es decir velocidades de 1.2 Mbps a 34 Mbps, el Grupo de Interés de SMDS (SIG) quiso simplificar la integración de SMDS a los equipos existentes para redes e impulsar SMDS al mercado. Para esto ellos dividieron las funciones definidas por los niveles 3 al 1 del SIP entre dispositivos que manejaran paquetes de redes de área local (por ejemplo, un router) y dispositivos como el DSU/CSU que forman la Interface con los servicios digitales proporcionados por compañías que prestan servicios de telecomunicaciones.

El protocolo **DXI(Data Exchange Interface)** define esta división de tareas y describe las relaciones entre el router y la DSU/CSU tal como muestra la **Figura 8.28**.

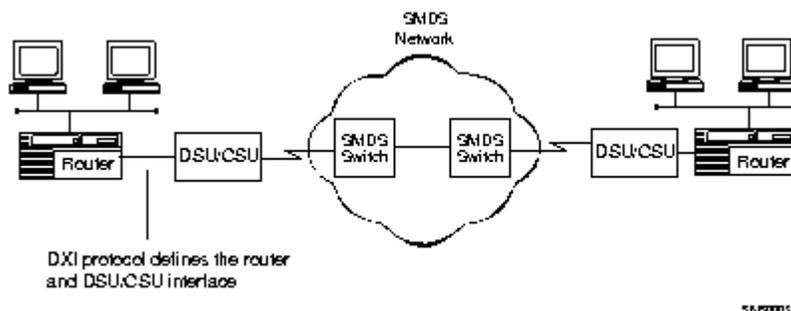


Figura 8.28. Protocolo DXI

El ensamblaje de la PDU de SMDS comienza cuando el enrutador recibe el paquete generado por la red LAN. El enrutador toma el paquete entero y lo encapsula con una cabecera de 36 bytes (que contiene direccionamiento, longitud e información de control) y una cola de 4 bytes (que contiene un valor de CRC), formándose entonces el PDU Nivel 3.

A continuación el enrutador prepara el PDU Nivel 3 para transmitirlo a la DSU/CSU al encapsularlo para ello agrega una cabecera y una cola del DXI, que proporcionan información de control. Al recibir la DSU/CSU el paquete DXI, esta extrae la cabecera y la cola y divide el PDU del nivel 3 en unidades de longitud fija (44 bytes) llamadas celdas. La DSU/CSU encapsula estas celdas dentro de una cabecera de 7 bytes y una cola de 2 bytes formando así el PDU del Nivel 2.

Finalmente la DSU/CSU inserta una cantidad de 4 bytes de información de entramado entre cada PDU del Nivel 2 y transmite las celdas entramadas a través de un Servicio Digital 1 (DS1) o una conexión DS3 a la red SMDS. Todo ello es ilustrado por la **Figura 8.29**.

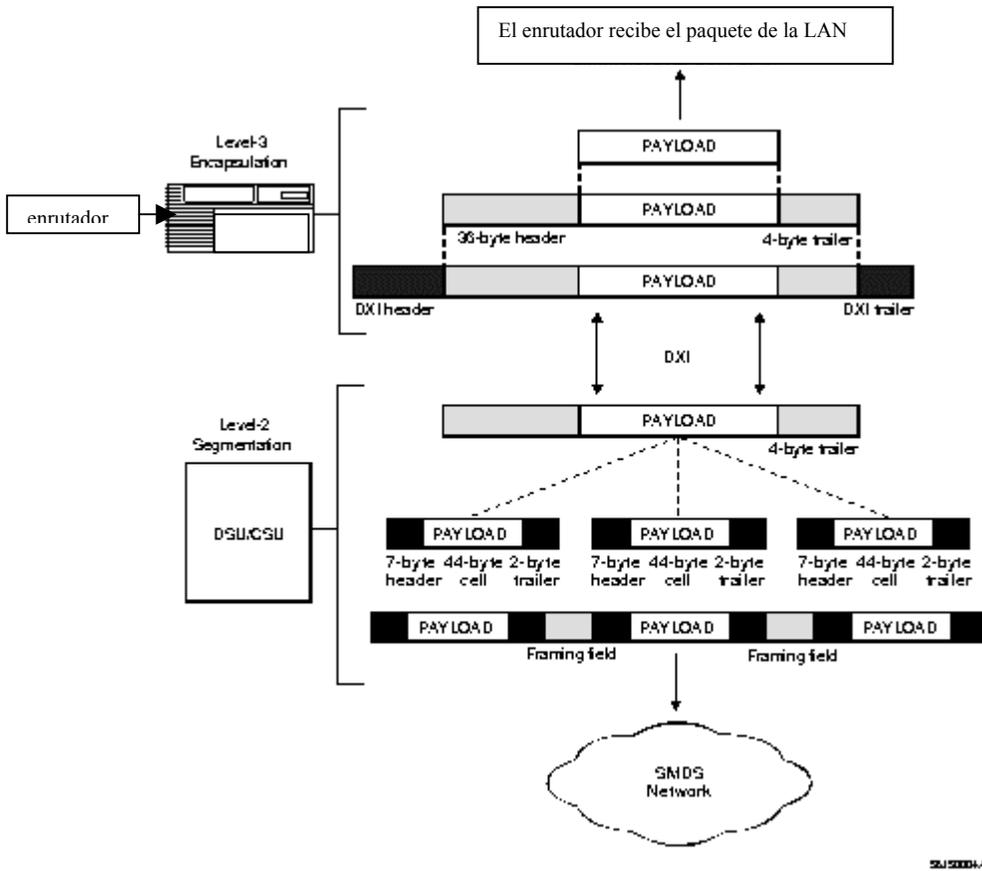


Figura 8.29 Ensamblaje del paquete DXI

8.5.8.-DQDB(Dual Queue Dual Bus) sobre SMDS.

Hasta ahora se ha citado el **DQDB(Dual Queue Dual Bus)** como un estándar sobre el que está basado SMDS,pero no se ha dicho que papel juega dicho estándar,ocurre que el protocolo **SIP** que opera sobre **SNI** emplea **DQDB**,protocolo que especifica una topología de red compuesta de **dos buses lógicos unidireccionales**(de allí lo de **dual bus**),que interconectan el **CPE** y el "**carrier equipment**" llamado a veces **MSS(MAN Switching System)** llevando tráfico en ambos sentidos,esa conexión físicamente es de fibra óptica.

La **Figura 8.30** nos muestra el acceso DQDB básico,con dos dispositivos CPE y un MSS(un switch) conectados al bus dual.

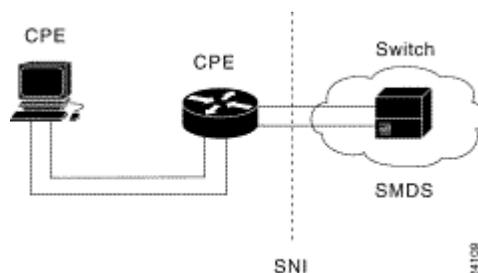


Figura 8.30. El acceso básico DQDB consiste de un nodo final, un enrutador y un switch.

Un acceso DQDB de SDMS puede consistir de una configuración de uno ó varios CPE., llamados simple y múltiple respectivamente

Un acceso DQDB de un CPE ó simple, consiste de un switch del lado portador de la red SMDS y una estación CPE en el lado del usuario ó suscriptor y crea una subred DQDB de dos nodos, la comunicación se establece solamente entre el CPE y el switch a través del SNI, no existe ninguna contienda en el bus porque ningún otro CPE intenta acceder a él.

Una configuración múltiple (varios CPE) consiste de un switch en la red SMDS del portador y varios CPE interconectados en el lado del suscriptor (todos pertenecientes al mismo suscriptor). En configuraciones múltiples es posible comunicación local entre los CPEs, algunas la verá el switch que sirve la SNI y otras no. La contienda por el uso del bus por estos múltiples CPEs requiere del uso del algoritmo de cola distribuida de DQDB (DQDB distributed queuing algorithm) que hace que la implementación de sistemas múltiples sea más complicada que la de los simples.

Recuérdese que los switches, ó también MSS, se interconectan entre sí a través conformando la red pública SMDS, normalmente se conectan a través de un **IXC** (Inter EXchange Switch) que enruta el tráfico de un switch a otro, efectúa el manejo de la red y mantiene la base de datos de suscriptores. Los IXC pueden conectarse con otros para pasar de MAN a redes WAN.

8.6.- ATM (Asynchronous Transfer Mode).

Las empresas de telecomunicaciones han realizado, y realizan, cuantiosas inversiones en enlaces terrestres y transoceánicos de fibra óptica cuyas velocidades son, con la combinación de varias fibras y DWDM, de muchos Gbps. Estas empresas desean transportar en forma integrada tanto el tráfico que requiere de tiempo real pero que admite algunas pérdidas (voz y video), como el tráfico que no requiere de tiempo real pero que no tolera pérdidas, como el tráfico entre computadoras y la transferencia de archivos.

Por otra parte debe recordarse que ya se mencionó en el Capítulo 5 (ver Apéndice 5A) que la naturaleza del tráfico es por **ráfagas**, una comunicación telefónica normal solo ocupa un 40% del tiempo de conexión, el video muchas veces consiste en imágenes que cambian muy lentamente (movimiento de labios, desplazamiento de la cabeza ó algún miembro, etc) y luego un cambio total de la imagen para regresar a cambios lentos, cuando se utilizan esquemas de compresión resulta un flujo de datos con períodos de poco volumen y otros (generalmente breves) donde hay una multiplicación por 100 ó más en el volumen de datos, el tráfico entre computadoras si bien tiene períodos como los de transferencia de archivos donde hay un flujo casi continuo de datos tiene períodos de búsqueda, lectura, selección, ..etc que hacen muy irregular el tráfico.

El problema de transportar distintas clases de tráfico, que además de por sí son producidos por ráfagas, consiste en que el requerimiento pico de velocidad de transmisión es muy alto pero dura muy poco. ATM fue concebido para resolver este problema del tráfico tipo **ráfaga** utilizando la tecnología de **paquetes**, pero a diferencia de otras que ya hemos analizado (X.25, TCP/IP, etc) tiene características que atienden a preservar el tiempo real, para ello se utiliza un paquete denominado **celda ATM de longitud pequeña y fija** con poco overhead, y el sistema es **orientado a conexión**, por lo que combina las virtudes de conmutación de paquetes y conmutación de circuitos poniendo énfasis en la **calidad del servicio (QoS)**.

Con la longitud pequeña y fija se logra atender al tiempo real, además si una celda se pierde por congestión u otra razón el daño es reducido ó, dependiendo de la aplicación, puede reenviarse asegurando la integridad de los datos. Siendo orientado a conexión tiene un mecanismo de direccionamiento que no deja ociosa una conexión física cuando el usuario está inactivo, atendiendo al tema de la ráfagas.

Se dice que ATM es una técnica **de paquetes rápidos de longitud fija** y por ello se le clasifica como de **cell relay**.

ATM es consecuencia de la labor de estandarización de la ITU-T para B-ISDN (Broadband Integrated Services Digital Network), y es en realidad un mecanismo de transporte de alta velocidad para B-ISDN concebida para redes públicas, el ATM Forum² extendió la visión de ATM para su uso en redes públicas **y privadas**, y ha emitido varias recomendaciones:

- User-to-Network Interface (UNI) 2.0
- UNI 3.0
- UNI 3.1
- Public-Network Node Interface (P-NNI)
- LAN Emulation (LANE)

ATM no es simplemente otro protocolo de WAN, ni un medio de transporte, es un nuevo **servicio de interred**, lo que significa que interaccionará con diferentes protocolos y equipos, además es de gran velocidad integrando diversos tipos de tráfico según criterios de calidad (QoS, Quality of Service) y requerirá señalización debido a la diversidad de rutas.

8.6.1.-Celdas ATM

Las celdas de ATM se componen de 53 bytes u octetos, de ellos 5 son de encabezamiento y 48 de contenido (payload), tal como muestra la **Figura 8.31**, y funciona como un contenedor ó "container", el encabezamiento contiene información que permite conducir la celda a su destino.

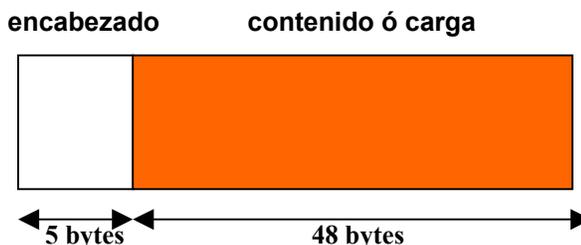


Figura 8.31. Celda ATM

La razón de los 53 bytes es consecuencia de considerar el retardo y la variación de ese retardo, veamos inicialmente el retardo que es consecuencia de la paquetización.

² El **ATM Forum** es una organización sin fines de lucro y no gubernamental integrada por más de 500 empresas a fin de desarrollar ATM e impulsar su aplicación, puede ser accedido en <http://www.atmforum.com>

Recordemos que si tenemos un canal telefónico de 64 Kbps y con este flujo debemos ir llenando celdas, digamos de 40 bytes(320 bits),tendremos que esperar 5 ms para lograrlo, este es el **retardo de paquetización**, que será mayor a medida que la celda sea más grande..

El retardo produce, debido a la conversión análogica digital un **eco**, que es más notable a medida que el retardo crece, recordemos los 250 milisegundos de la conexión satelital de un salto. Valores pequeños de retardo, aún 10 y 100 milisegundos, son percibidos por el usuario.

Por otra parte a medida que el celda reduce su tamaño el overhead crece, ó sea el sistema se hace más ineficiente.

La **Figura 8.32**,nos dice que hay que llegar a una solución de compromiso

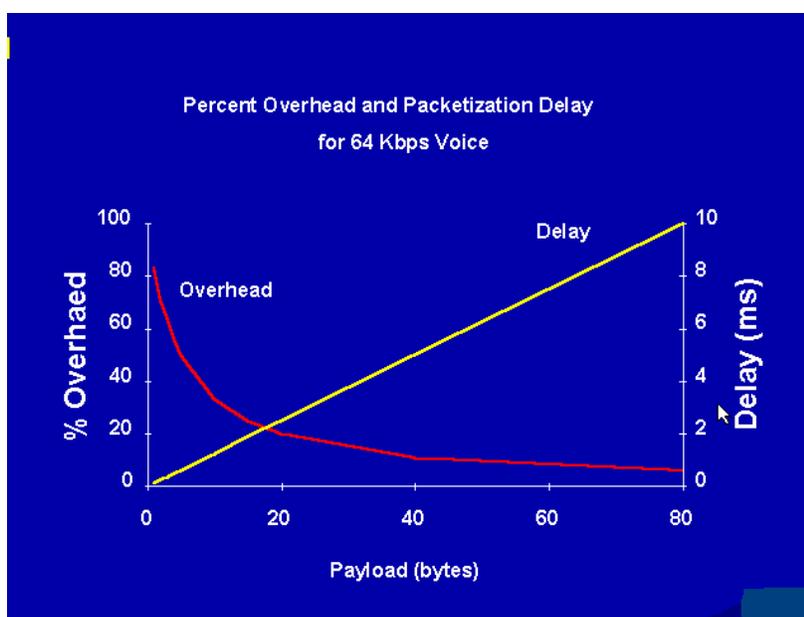


Figura 8.32.Retardo y Overhead en función de la dimensión de la carga de la celda.

Asimismo las variaciones del retardo requieren que las celdas no sean ni muy grandes ni muy pequeñas.

La administración norteamericana, dado que sus redes telefónicas son muy largas y han instalado supresores de eco, estaba interesada en cargas de 64 bytes y overhead de 5 bytes, las administraciones europeas, con redes telefónicas más pequeñas y sin supresores de eco, propusieron 34 bytes y 4 bytes de overhead, la solución fue salomónica 48 + 5 bytes.

La **Figura 8.33** ilustra las dos tendencias y su confluencia en el estándar de ATM.

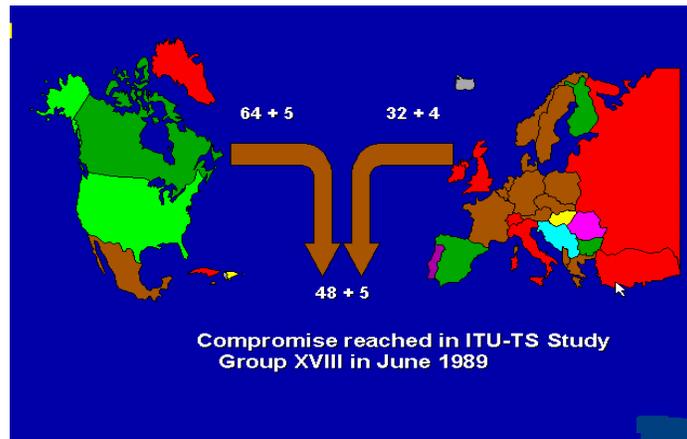


Figura 8.33. Compromiso alcanzado en la ITU-T

8.6.2.-Enfoque y dispositivos de ATM.

Consideremos un caso genérico donde voz, video y datos transitan por una red ATM, en el, **Figura 8.34**, se observa que los flujos provenientes de cada equipo son convertidos por un dispositivo adecuado en celdas ATM, debidamente etiquetados y enviados a esa "nube" de ATM, en el otro extremo se efectúa el proceso inverso.

La ventaja es que cualquier otro equipo que se agregue se conectará al dispositivo y luego los datos respectivos circularán por la red ó "nube" ATM sin que nada deba cambiar.

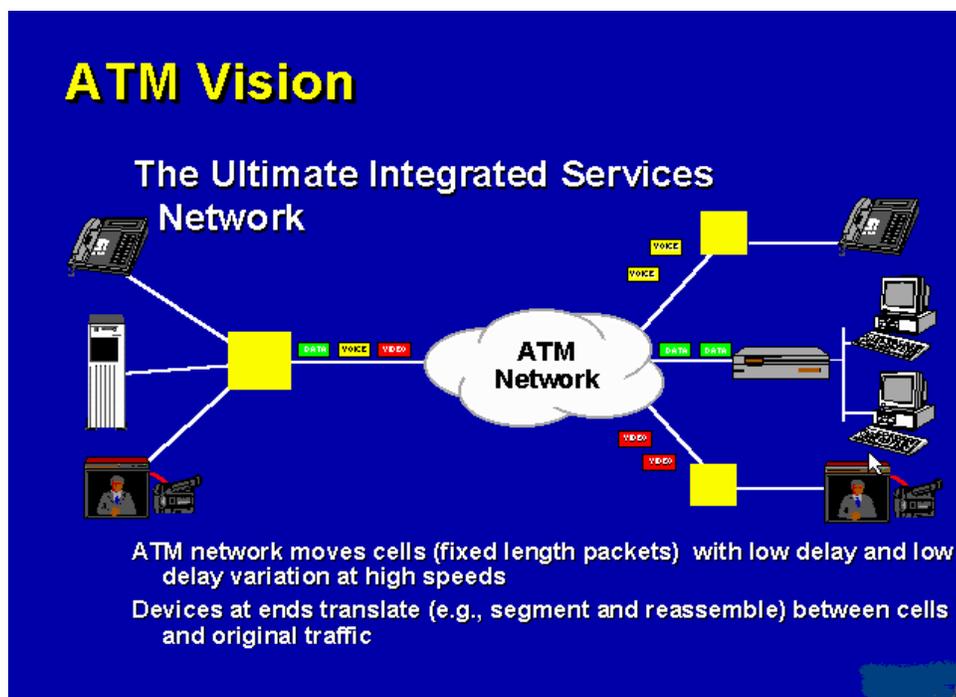


Figura 8.34. Enfoque ATM.

En la **Figura 8.32** se han mencionado dos aspectos importantes, el bajo retardo y la pequeña variación de ese retardo, de los que ya hemos hablado, y los extremos(ends) unidos a la nube ATM lo que es oportuno detallar ahora.

Una **red ATM** se compone de **extremos ATM(ATM endpoints)**, **switches ATM** y los enlaces entre ellos.

Un **extremo ATM** es un equipo tal como una estación de trabajo, un enrutador,DSU(Data Service Units), CODECs(Coder-Decoder para video),etc, **que contiene un adaptador de interfaz con la red**(similar a la tarjeta de red LAN que llamamos NIC).

Los **switches ATM** tienen un trabajo muy bien definido, reciben las celdas que provienen de extremos ATM ó de otro switch ATM, leen y actualizan la información del encabezado y rápidamente conmutan(switchean, valga el anglicismo)la celda hacia la interfase de salida correspondiente.

La **Figura 8.35**,ilustra como los extremos y switches ATM conforman la red ATM

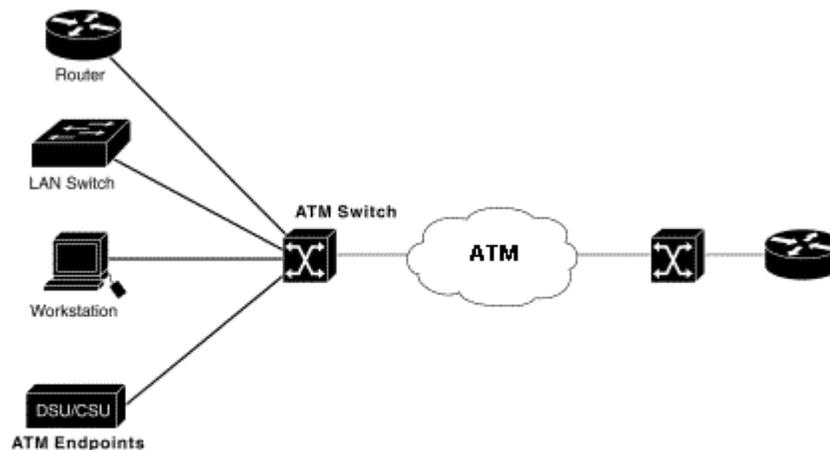


Figura 8.35 Red ATM con extremos y switches

Analicemos por un momento que es lo que ocurre con una comunicación telefónica, que como ha sido digitalizada se ha convertido, a pesar de su característica de flujo tipo ráfaga, en un flujo continuo de 64 Kbps producido de 8 bits en 8 bits, como el enlace ATM tiene mayor velocidad aparecerán celdas vacías(que pueden serlo de verdad ó pueden ser utilizadas por otros usuarios ú otros servicios),tal como lo ilustra la **Figura 8.36**.

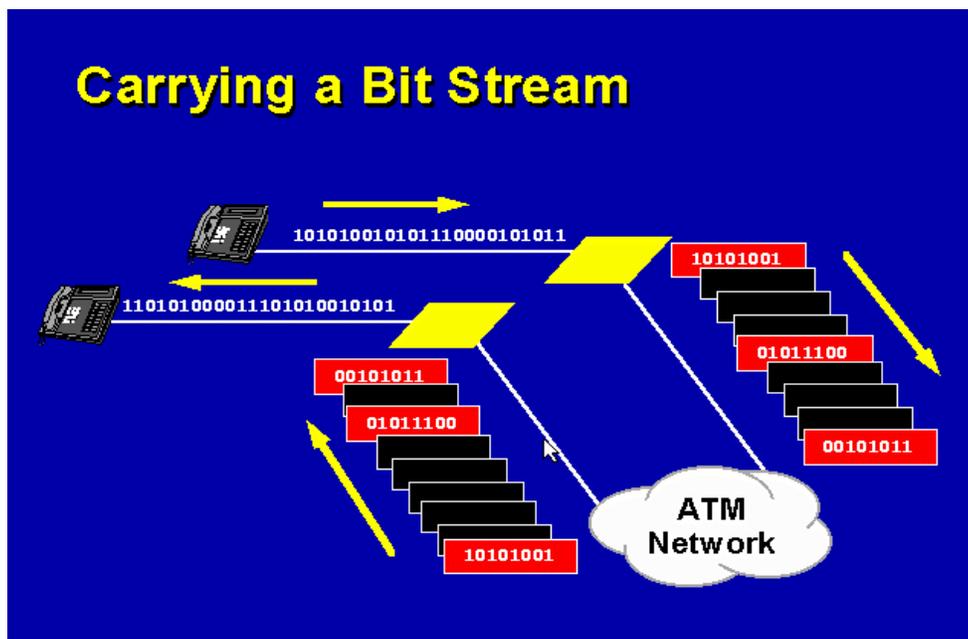


Figura 8.36. Ejemplo del flujo de bits en voz.

Se observa que los grupos de 8 bits luego que han pasado por la "red ATM" llegan **en el mismo orden** que fueron emitidos, pero con diferente número de celdas vacías (o de otros usuarios) intercaladas, esta es la razón por la que ATM se denomina **asíncrono**.

En datos, **Figura 8.37**, la situación es similar, pero como estos probablemente ya venían en paquetes más grandes, hay mayor continuidad en las celdas emitidas, aunque en el otro extremo pueden haber otras celdas intercaladas.

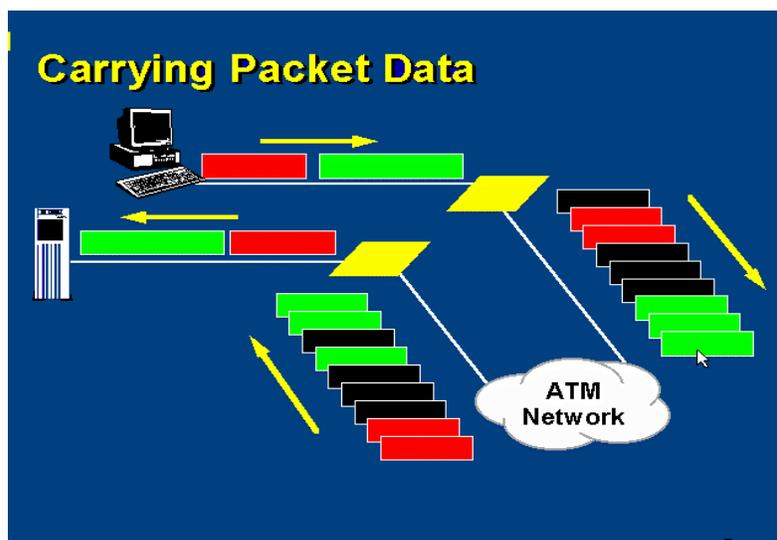


Figura 8.37. Celdas en el caso de datos

8.6.3.-Modelo de capas de ATM.

El modelo de capas de OSI para ATM es muy amplio, vamos a comenzar por lo más sencillo y luego daremos más detalle. La **Figura 8.38**, muestra una parte del modelo que llamaremos básico.

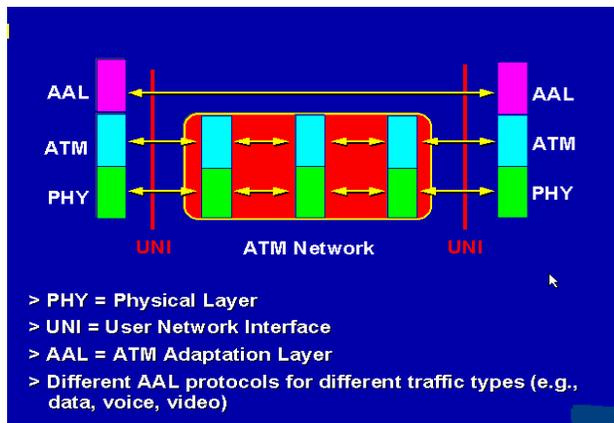


Figura 8.38. Modelo(básico) de Capas de OSI

Esta parte básica del modelo se compone de tres capas:

- **Capa física**, esta capa, que se subdivide en dos, se ocupa del medio físico, señales, conectores, etc pero también del delineado de celdas y de la inserción de celdas vacías en períodos ociosos.
- **Capa ATM**, es la que tiene que ver con las celdas y su traslado
- **Capa AAL**, esta capa sirve para adaptar la capa ATM a los diferentes servicios, es extremo a extremo, mientras que las dos capas inferiores son vecino a vecino, y los diferentes protocolos correspondientes a diversos servicios van en los 48 bytes del contenido.

El modelo OSI para B-ISDN comprende el básico de ATM y es mucho más completo, así se muestra en la **Figura 8.39**.

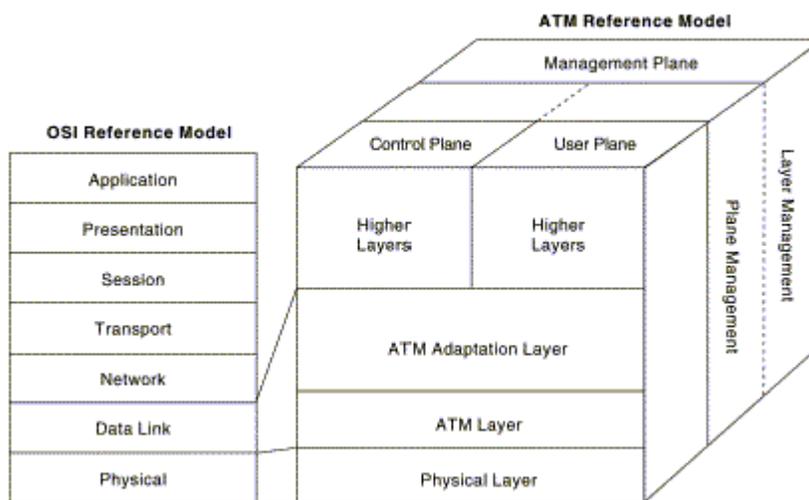


Figura 8.39. Modelo OSI para B-ISDN

El modelo es en realidad tridimensional, contempla los siguientes planos, que se extienden sobre todas las capas:

- **Control**, este plano es responsable de generar y manejar las llamadas de señalización.
- **User**, se ocupa de manejar la transferencia de los datos.
- **Management**, tiene dos componentes:
 - Gerencia de capas* que maneja funciones específicas de la capa, como detección de fallas y problemas de protocolo.
 - Gerencia de plano*, maneja y coordina funciones relacionadas con el sistema completo.

8.6.4.-Capa física.

Una red ATM consiste de una serie de switches ATM y equipos extremos ATM interconectados por enlaces ATM punto a punto.

Los switches ATM soportan dos tipos fundamentales de interfases: **User-Network Interface (UNI)** y **Network-Node Interface (NNI)**, el UNI conecta equipos de extremo ATM a un switch ATM y el NNI conecta dos switches ATM. Estos UNIs y NNIs se subdividen en públicos y privados según interconecten equipos públicos ó privados, existe además **B-ICI** que conecta dos switches públicos de diferentes organizaciones.

En la **Figura 8.38** ya se empleó el término **UNI** y allí se ve donde está esta interfase.

Los medios físicos utilizados para ATM son diversos:

- ❑ **Fibra Óptica multimodo:**
 - 100 Mbps Código 4B/5B.
 - 155 Mbps Sonet STS-3c
 - 155 Mbps Código 8B/10B
- ❑ **Fibra Óptica monomodo**
 - 155 Mbps Código 8B/10B.
- ❑ **Cable Coaxial**
 - 45 Mbps DS3(E3).
- ❑ **Par trenzado blindado, STP.**
 - 155 Mbps Código 8B/10B.
- ❑ **Par trenzado UTP-3**
 - ATM-25Mbps
- ❑ **Par trenzado UTP-5**
 - 155 Mbps 8B/10B.

Existe una diferencia importante entre el modelo de capas de OSI y el ATM, en aquél la capa física maneja los "electrones", en este la unidad mínima son las celdas y por ello la capa física tiene ciertas funciones relacionadas con las celdas. Podemos decir que la capa física tiene aquí cuatro funciones: los bits son convertidos en celdas, se controla la transmisión y recepción de bits en el medio físico, se lleva control de los bordes de las celdas ATM, y las celdas son adecuadamente combinadas(ó embaladas)para el tipo de trama adecuado al medio físico.

Para ello la capa física se subdivide en dos partes:

- ❖ **La subcapa PMD(Physical Medium-Dependent).**
- ❖ **La subcapa TC(Transmission-Convergence)**

La **Figura 8.40**, nos dá las dos subcapas de la capa física.



Figura 8.40.Subcapas de la Capa Física de ATM.

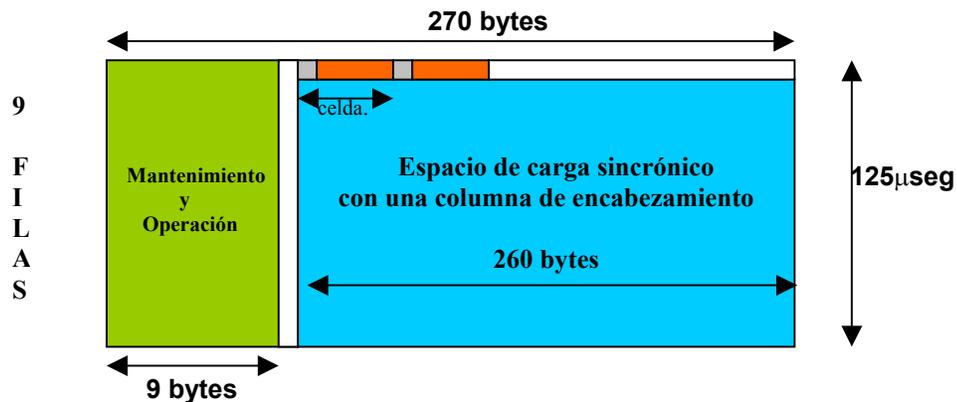
La subcapa **PMD** tiene dos funciones primordiales, primero **sincroniza la transmisión y la recepción** enviando un flujo continuo de bits conjuntamente con la información asociada de temporización,segundo **especifica el medio fisico**(ya descrito para ATM) utilizado,incluyendo código,conectores y cable.

La subcapa **TC** tiene cuatro funciones:

1. **delimitación de las celdas**, mantiene los bordes de las celdas ATM permitiendo localizar celdas en un flujo de bits
2. **generación de la secuencia de control de errores del encabezado(HEC) y su verificación**, es un control de errores del encabezado que tiene gran importancia pues este contiene direccionamiento vital para asegurar la entrega de la celda.
3. **Desacople de celdas**, mantiene el sincronismo e inserta ó suprime celdas ATM vacías para adaptar la velocidad de las válidas a la capacidad de carga del sistema de transmisión.
4. **adaptación a las tramas de transmisión**, empaqueta las celdas en las tramas correspondientes a la implementación de capa física escogida.

A fin de ilustrar las funciones de las dos subcapas de la capa física vamos a ver la implementación para SONET STS-3c con 155 Mbps sobre fibra óptica, que es una las más comunes y conocidas, sin embargo SONET puede implementarse también sobre otros medios fisicos como UTP.

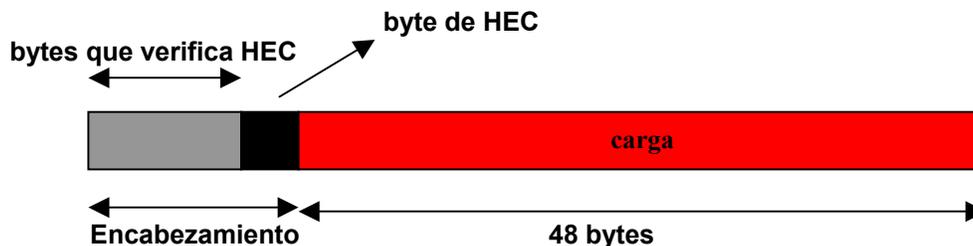
La trama SONET se muestra en la **Figura 8.41**,los bytes son transmitidos de una fila por vez comenzando del extremo superior izquierdo.



$$9 \times 260 \times 8 / 125 \mu\text{seg} = 149.76 \text{ Mbps de espacio de carga sincrónico}$$

Figura 8.41.Trama STS-3c llamada también OC-3c y STM1

Las celdas ATM son **delineadas** por el **HEC(Header Error Check)**, que es el quinto byte del encabezamiento de la celda ATM, tal como se ve en la **Figura 8.42**.



La carga real de la trama(quitando el encabezado) es 135,63 Mbps.

Figura 8.42.Celda ATM

La delineación de la celda tiene lugar así: el receptor supone inicialmente que 5 bytes cualquiera son el encabezamiento, efectúa el cálculo de HEC sobre los cuatro primeros bytes y lo verifica con el quinto byte, si coincide salta 48 bytes y repite el proceso, si se verifican seis revisiones exitosas de HEC, se declara la delineación de la celda. Si en cambio la primera verificación fue fallida se desplaza un byte y repite el proceso hasta encontrar la delineación.

Se presenta un problema cuando nos encontramos con celdas vacías(que tienen todos ceros),el CRC de cuatro bytes formados por ceros es también cero, por lo tanto el HEC debe basarse en algo diferente a un simple CRC. La solución es calcular el CRC, y luego hacer un **or exclusivo** con una secuencia de 8 bits llamada **coset**, de manera que el HEC no sea de todos ceros aunque lo sea el encabezado, así tendremos un HEC útil para delineación, en el extremo receptor se vuelve a hacer un or exclusivo con el HEC y se obtiene el CRC original.

Recordemos que SONET es sólo un ejemplo, las tramas para DS3 ó para 155 Mbps para fibra multimodo hasta 2 Km, ó UTP hasta 100 metros con código 8B/10B son totalmente diferentes pues se ha tratado de utilizar tecnologías de medio físico conocidas como la aplicada en el Fibre Channel. Las recomendaciones G.804,G.832,G.704, y otras para 622 Mbps(OC-12c/STM-4c) deben ser consultadas para profundizar en el tema.

8.6.5.-Capa ATM.

La capa ATM, descrita en el estándar CCITT Rec. Y.361, recibe los 48 bytes de la carga y es responsable de agregarle los 5 bytes del encabezamiento. Veamos ahora como es el encabezamiento de las celdas pues allí está la información necesaria para el enrutamiento, la administración del tráfico y la multiplexión de las celdas.

Hay dos formas de encabezado de la celda, ver **Figura 8.43**, una para UNI y otra para NNI,la única diferencia entre ellas es que en la UNI existe un campo adicional **GFC** de 4 bits, esto significa un campo **VPI** más corto en la celda UNI.

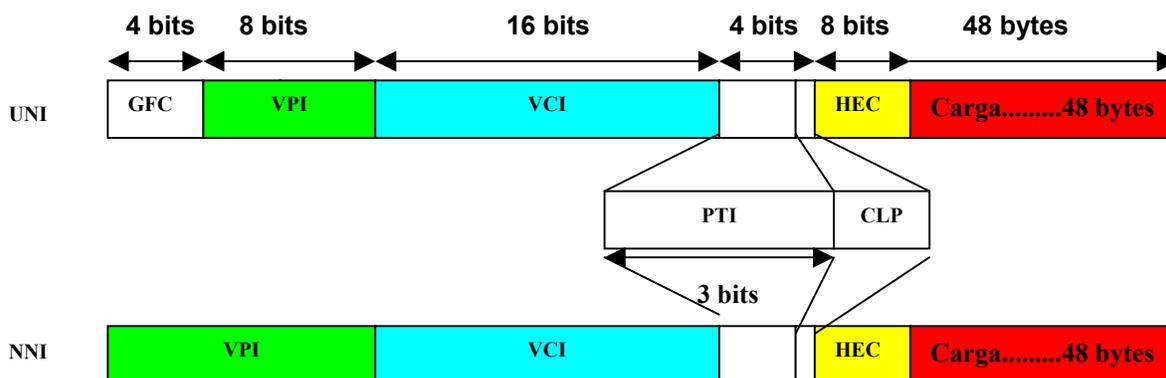


Figura 8.43. Encabezados de celdas ATM

Vamos a ver el significado de cada uno de los campos:

- **GFC (Generic Flow Control)**, provee funciones locales como identificar estaciones múltiples que comparten una sola interfaz ATM, normalmente no se usa y sus valores se ajustan a ceros.
- **VPI (Virtual Path Identifier)**, conjuntamente con VCI, identifica el próximo destino de la celda a medida que pasa a través de una serie de switches ATM en su camino hacia el destino.
- **VCI (Virtual Channel Identifier)**, conjuntamente con VPI, identifica el próximo destino de la celda a medida que pasa a través de una serie de switches ATM en su camino hacia el destino.
- **PTI (Payload Type Identifier)**, con el primer bit señala si la celda contiene datos de usuario ó de control. Si la celda contiene datos del usuario, el segundo bit indica congestión, y el tercero indica si la celda es la última de una serie de celdas que representa una sola trama AAL5.
- **CLP (Congestion Loss Priority)**, indica si la celda puede ser descartada en caso de encontrar gran congestión según se mueve en la red. Si el bit CLP vale 1, la celda debe ser descartada preferentemente frente a celdas cuyo bit CLP vale cero.
- **HEC**, ya se ha descrito

Se ha mencionado que las redes ATM son **orientadas a conexión**, lo que quiere decir que deberemos establecer un **canal virtual de conexión**, **VCC (Virtual Channel Connection)**, identificado por un **VCI (Virtual Channel Identifier)**, a través de la red ATM antes de cualquier transferencia de datos, el significado de canal virtual es equivalente al de **circuito virtual** y ambos términos describen una conexión lógica entre dos extremos de una red de comunicaciones.

Si agrupamos lógicamente varios canales virtuales para permitir que uno ó más switches ATM efectúen operaciones de switching a ese grupo, tendremos un **camino virtual de conexión**, **VPC (Virtual Path Connection)** que será identificado por un **VPI (Virtual Path Identifier)**.

Los VCI y VPI tienen significación **local**, lo que quiere decir que tienen validez en un determinado enlace y son cambiados, según sea necesario, en cada switch.

Si agrupamos varios caminos virtuales tendremos un **camino de transmisión** (transmission path) como el que se ve en la **Figura 8.44**.



Figura 8.44. Camino de Transmisión.

En ATM entonces se identifica una conexión por su número de camino(VPI) y por el número de canal(VCI),y se da el par VPI/VCI, en la **Figura 8.45** tenemos los pares 1/8,6/4,4/5 y 2/9.

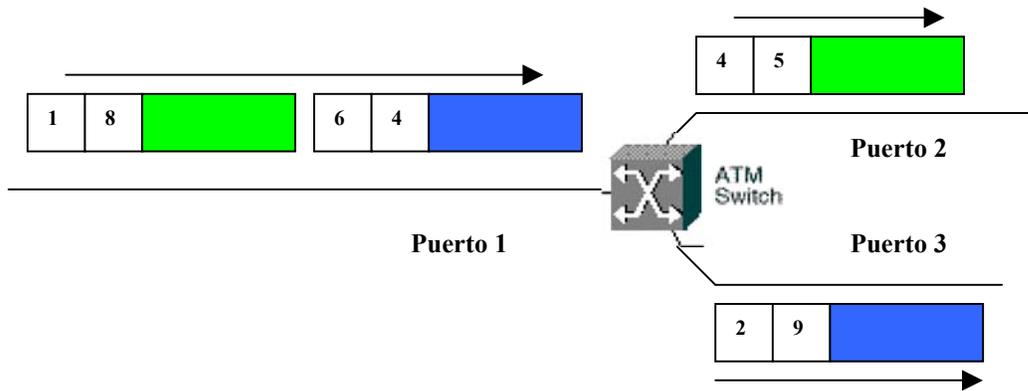


Figura 8.45.Mantenimiento de conexiones virtuales a través de un switch ATM.

Pero aún hay más porque las celdas ATM entran al switch por un puerto y entonces la identificación será VPI/VCI y **número de puerto**, dentro del switch existe una tabla de conexión, ó tabla de enrutamiento que asocia un VPI/VCI y número de puerto de entrada, con otro VCI/VPI y número de puerto de salida, la tabla en enrutamiento tendría el aspecto de la **Figura 8.46**..

Entrada			Salida		
Puerto	VPI	VCI	Puerto	VPI	VCI
1	1	8	2	4	5
2	4	5	1	1	8
1	6	4	3	2	9
3	2	9	1	6	4

Figura 8.46.Tabla de enrutamiento

Cuando una celda llega al switch, éste observa el VCI/VPI de dicha celda y como además sabe porque puerto está llegando, consulta con su tabla de enrutamiento, y si por ejemplo era 1/8,puerto 1 encaminará la celda al puerto 2 cambiando su VCI/VPI 4/5.

Los valores de VCI no son exclusivos, en la entrada, si existiese un puerto 4,pudieran haber pares 1/8 puerto 1 y 1/8 puerto 4.

Surge la pregunta de porque dos números(VPI/VCI) ?, la razón es que VPI agrupa canales virtuales(identificados por sus valores VCI)en grupos lógicos, reduciendo el número de campos que tienen que ser cambiados cuando cada celda pasa a través del switch con lo que se aumenta el rendimiento del mismo. veamos la **Figura 8.47**, en ella las celdas que entran por el puerto 1 del switch ATM y tienen un valor de VPI 4 se procesan a través del **VP switch**, el cuál cambia los valores del VPI de cada celda a 5,pero deja los valores de VCI intactos y manda las celdas al puerto 3.

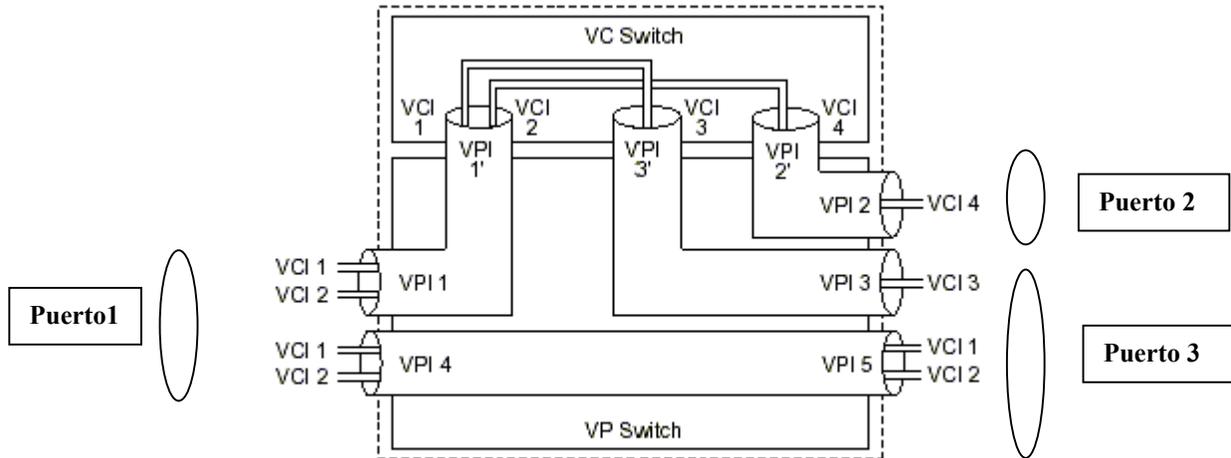


Figura 8.47 .Los caminos virtuales forman grupos lógicos

Las celdas que tienen un VPI de 1 se procesan a través del **VC switch**, para las celdas que tienen un valor del VCI de 1,el VC switch cambia el VPI a 3 y el VCI a 3 y manda las celdas al puerto 3,para las celdas cuyo VCI es 2 el VC switch cambia VPI a 2 y VCI a 4 y manda las celdas al puerto 2.

Tipos de conexión:

ATM soporta dos **tipos de conexión**, ilustradas en la **Figura 8.48**:

- **Punto a punto:** las conexiones de este tipo pueden ser uni ó bidireccionales.
- **Punto a multipunto:** las conexiones de este tipo sólo son unidireccionales, un ejemplo es el de teledifusión.

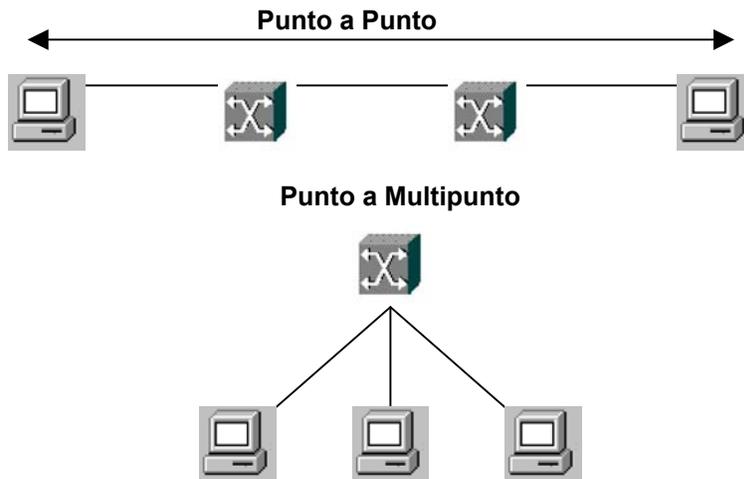


Figura 8.48.Tipos de conexión.

Sería deseable que ATM pudiese soportar enlaces multipunto a multipunto, ello solo puede hacerse utilizando un equipo adicional llamado **servidor de multidifusión**.

Servicios de conexión.

Hasta ahora hemos visto como se enruta a través de un switch, queda por explicar como se hará para establecer una **conexión a través de la red ATM**, recordemos que ATM es orientado a conexión y que la **conexión** que se establece es **virtual**.

Las conexiones virtuales de ATM pueden ser:

- **PVC(Permanent Virtual Circuit)**, que son **conexiones virtuales permanentes** (a veces llamadas semipermanentes pues pueden ser modificadas), las que son establecidas por una especie de sistema de gerencia de la red que comunica a todos los switches y demás dispositivos los pares VPI/VCI, y sus diversas conversiones, correspondientes a esta conexión "permanente", de manera que estos los incluyan en las tablas de enrutamiento. Esta es parecido al concepto de "líneas dedicadas" de telefonía y se utilizan en las mismas circunstancias de aquellas.
- **SVC(Switched Virtual Circuit)**, que son **conexiones virtuales conmutadas ó switchadas**, que se establecen y desaparecen de manera dinámica a petición de cada usuario. Esto se hace predefiniendo uno de los valores VPI/VCI para ser utilizado por el **protocolo de señalización**(que controla las conexiones permitiendo su establecimiento ó finalización según sea el caso), el valor utilizado es VPI = 0 y VCI = 5 , o sea 0/5, la **Figura 8.49** ilustra como una conexión 0/5 entre el usuario y el switch de ATM termina en la **función procesamiento de llamada** de éste, asimismo en el otro extremo hay otra conexión 0/5 que a su vez termina en la función de procesamiento de llamada de ese ú otro switch. Esas conexiones 0/5 son el **canal de señalización**. El resultado es una configuración dinámica que permite el establecimiento de una conexión en menos de un segundo, la **conexión que transmite la información no** es la misma utilizada para señalización y se muestra en la figura como una línea que no pasa por la función de procesamiento de llamada.



Figura 8.49. Operación del canal de señalización y de información del SVC.

Veamos como es el proceso de establecimiento de una llamada **SVC** en ATM, la **Figura 8.50** nos muestra la fases de ese proceso que se inicia cuando la máquina A decide comunicarse con la máquina B.

Para ello la máquina A envía, por el canal VPI0/VCI5, un **mensaje de establecimiento** que transporta información necesaria para ello, tal como:

- **Identificador de llamada**, pues varios usuarios pueden estar utilizando el canal VPI0/VCI5 en diferentes etapas de funciones de señalización y es necesario identificar cada llamada.
- **Dirección de quién efectúa la llamada(A).**
- **Dirección de a quién se efectúa la llamada(B).**
- **Características del tráfico.**
- **Calidad del servicio(QoS).**

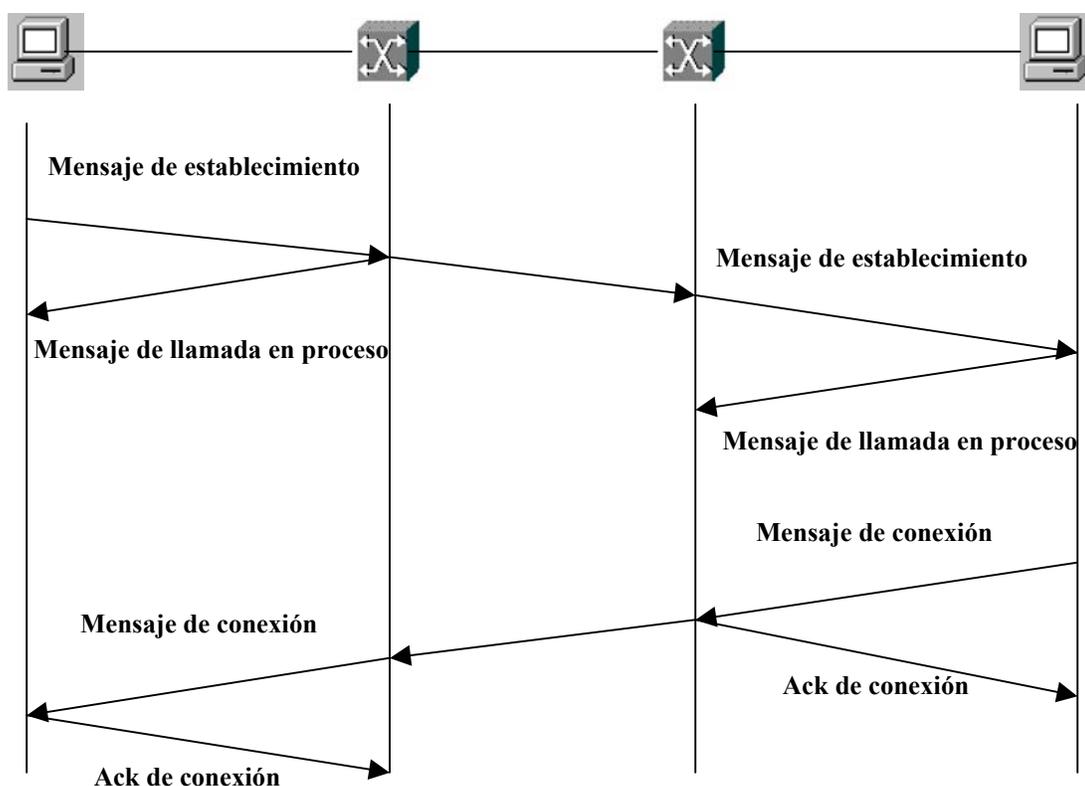


Figura 8.50. Establecimiento de una conexión SVC.

El switch responde con un **mensaje de llamada en proceso**, que contiene la **identificación de llamada** respectiva y el **VPI/VCI asignado** al canal de información.

Luego ocurre una cierta "**magia**" en la que la red examina sus recursos, busca caminos, etc, para encontrar la manera de instalar la conexión hasta la máquina de destino B.

Al llegar al último switch antes de la máquina B, este envía a dicha máquina (que también puede ser una máquina dentro de una red ATM privada ó una LAN un **mensaje de establecimiento**, cuyo contenido es igual al ya descrito con el agregado del VPI/VCI de información del último tramo, y que equivale a una "llamada" ó campanilleo de telefonía.

La máquina B, o la red privada, responde con un **mensaje de llamada en proceso**, que simplemente quiere decir "estoy viendo si acepto ó no la llamada".

Si la máquina B acepta la llamada envía un **mensaje de conexión**, que contiene el **identificador de llamada** y la indicación de que esta ha sido aceptada, ese mensaje se propaga hasta la máquina A, pero el switch contiguo a B envía a esta un mensaje de **ack de conexión**, la máquina A a su vez cuando recibe el **mensaje de conexión** envía un **ack de conexión** a su switch contiguo.

Con esto finaliza el **proceso de conexión** y comenzará el de **transferencia de información**.

Al finalizar la conexión deberá efectuarse el proceso inverso y borrarse de las tablas de enrutamiento la información de esta llamada.

Adicionalmente en la capa ATM se proporcionan capacidades de interpretar las celdas según su tipo (PT), así como los tipos de información de usuario ó los mensajes de operación ó gestión.

La capa ATM atiende únicamente a como se ha de interpretar el encabezado de la celda ATM, con la única excepción de las celdas OAM, de las que hablaremos luego, que llevan información de gestión.

Otra función importante de la capa ATM es el control de tráfico, durante el establecimiento de la conexión se realiza un acuerdo entre el usuario y la red sobre los parámetros de calidad de servicio (QoS), uno de esos parámetros es el ancho de banda requerido por el usuario para la conexión que se está estableciendo. Los dispositivos de la red están permanentemente monitoreando el tráfico generado por cada una de las conexiones, si una de ellas viola las características del acuerdo inicial entre el usuario y la red, la **función de control de tráfico puede** llegar a descartar celdas de dicha conexión.

La capa ATM no realiza ningún tipo de retransmisión de celdas (nos recuerda a IP), en todo caso avisa a las capas superiores que se han descartado celdas por aplicación de la función de control de tráfico.

El control de tráfico se puede hacer en tres lugares:

- En los switches, cuando se sobrecargan y tienen marcadas las celdas infractoras con el CLP.
- En los switches, con algoritmos como el de "tubo por goteo", descritos en la Sección 5.5, ver también [14], que contienen un poco el exceso de tráfico de un cliente.
- En los clientes, haciendo que el tráfico sea más "plano" o sea eliminando los "picos" grandes.

7.4.6.6.-Capa de Adaptación a ATM(AAL).

La capa de adaptación ATM(AAL) recibe los paquetes de los protocolos de nivel superior, como protocolos de Internet(IP), Netware(IPX), Appletalk,etc. y los fragmenta en segmentos de 48 bytes que forman el espacio de carga(payload) de una celda ATM, por lo tanto se ocupa de la transformación de las unidades de datos de servicio más grandes(SDUs)(por ejemplo video y paquetes de datos)de procesos de la capa superior en celdas ATM³.

La aseveración anterior explica la "mecánica" de AAL, pero su filosofía es definir como manejar en ATM los diversos tipos de servicio .

Existen varios tipos de servicio definidos por ITU ,la **Figura 8.51** resume las características cuatro tipos de servicio teniendo en cuenta varios factores:

- **Requiere cronometraje entre la fuente y destino**, lo que significa que debe existir cierto acuerdo entre ambos extremos en los que a reloj se refiere, recuerdese que ATM es asincrónico y el concepto de reloj universal no existe.
- **Velocidad**, los servicios de tipo A requieren velocidad(bit rate) constante, los otros no.
- **Tipo de conexión**, según sea orientado ó no a conexión.

Tipos de servicio	A	B	C	D
Requiere cronometraje entre la fuente y el destino	SI	NO	NO	NO
Velocidad (bit rate)	Constante	Variable	Variable	Variable
Tipo de conexión	Orientada a Conexión	Orientada a Conexión	No orientada a Conexión	Orientada a Conexión

Figura 8.51.Características de las diferentes tipos se servicio.

La Clase A efectúa una emulación de circuito mediante ATM, llamada CES(**C**ircuit **E**mulation **S**ervice) .Ocurre que la mayoría de las aplicaciones multimedia(video y voz) así como la telefonía a 64 Kbps suponen el establecimiento de un circuito y velocidad constante.

La Clase B es similar pero con velocidad variable y tiene en cuenta que el video puede ser codificado y transmitido a velocidad variable teniendo en cuenta la naturaleza de "ráfagas" de ese servicio.

Las Clases C y D no requieren cronometraje ni velocidad constante, son para datos y solo difieren en si están ó no orientadas a conexión, ejemplos de Clase C: Frame Relay sobre ATM, y de Clase D CCITT I.364:SMDS sobre ATM.

³ La AAL se compone en realidad de dos subcapas:la **Convergence Sublayer**,que depende del servicio y recibe y paquetiza los datos de la aplicación en **Convergence Sublayer Protocol Data Units(CS-PDU)** que son transferidos a la capa **Segmentation And Reassembly(SAR)** donde se dividen porciones de 48 bytes(**SAR-PDU**).

Veamos las diversas implementaciones de AALs.

- **AAL1 para Clase A**

La **Figura 8.52**, muestra la carga de una celda ATM en la que se reserva 1 byte de encabezado y 47 de carga real.

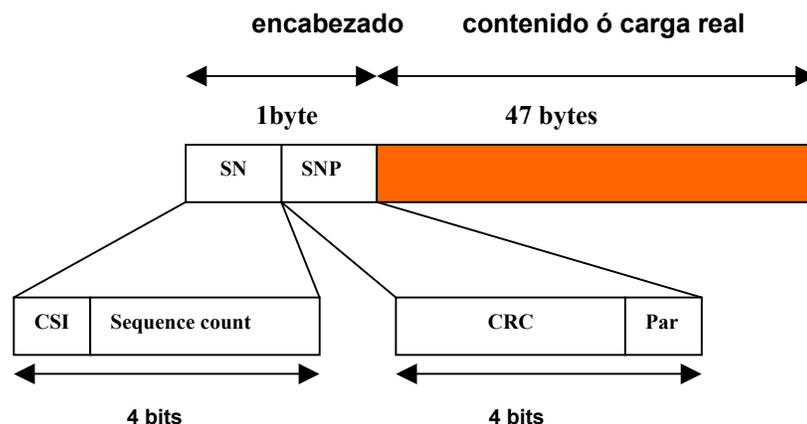


Figura 8.52. Celda AAL1

SN es el **Sequence Number** y **SNP** el **Sequence Number Protection** y proporcionan a la AAL1 receptora la información que necesita para verificar que ha recibido las celdas en el orden correcto ó sea atienda a pérdida de celdas, inserción y secuenciamiento erróneos, debido que solo tiene tres bits, si se pierden más de 8 celdas, es imposible decir cuantas celdas se han perdido y si se pierden exactamente 8 celdas(ó un múltiplo de ellas)el error ni siquiera es detectado.⁴

Las funciones más importantes del encabezado son:

- ✓ **Detección de celdas perdidas**, mediante el método de Reloj Adaptativo[14].
- ✓ **Alineamiento de bytes**, permite la emulación de circuitos canalizados, tales como DS1.
- ✓ **Marcado de tiempo**, utilizado para sincronización extremo a extremo, por ejemplo mediante el método Synchronous Residual Time Stamp(SRTS de Bell).

- **AAL2 para Clase B**

Esta es una nueva capa de adaptación que aún está bajo estandarización por la IUT-T y se está desarrollando para transporte de datos a velocidades bajas y muy sensibles a demoras, tales como voz sobre ATM, para ello se utilizan **miniceldas(CPS packets)**.

Las miniceldas pueden ser mucho más cortas que las celdas estándar, por ello toman menos tiempo de llenado para una determinada velocidad de datos, tienen un encabezado de 3 bytes y cargas que van de 1 byte hasta 64 bytes, además no se permiten longitudes de carga entre 46 y 63 bytes.

Una vez construidas las miniceldas son multiplexadas con otras miniceldas y llevadas como carga en celdas estándar de un canal virtual particular.

⁴ CSI es Convergence Sublayer Indicator.

- **ALL3/4 para Clase C y D.**

AAL3/4 nace de la unión de AAL3(datos con conexión) y AAL4(datos sin conexión) que son muy similares, como se verá AAL3/4 es muy ineficiente y es reemplazado por AAL5.

En AAL3/4 a los datos originales se les agrega antes y después varios bits para detección de errores,luego son divididos en grupos de 44 bytes, a cada uno de estos se les agregan dos bytes, llamados **MID(Message ID)** al frente y otros dos bytes de **CRC** en la cola, formando así los 48 bytes de carga de una celda ATM estándar.

Observese que existe CRC en cada celda, y un MID que permite multiplexión e intercalación de paquetes grandes en un mismo canal virtual(VC),a fin de hacer más eficiente su utilización.

La **Figura 8.55** resume lo expuesto.

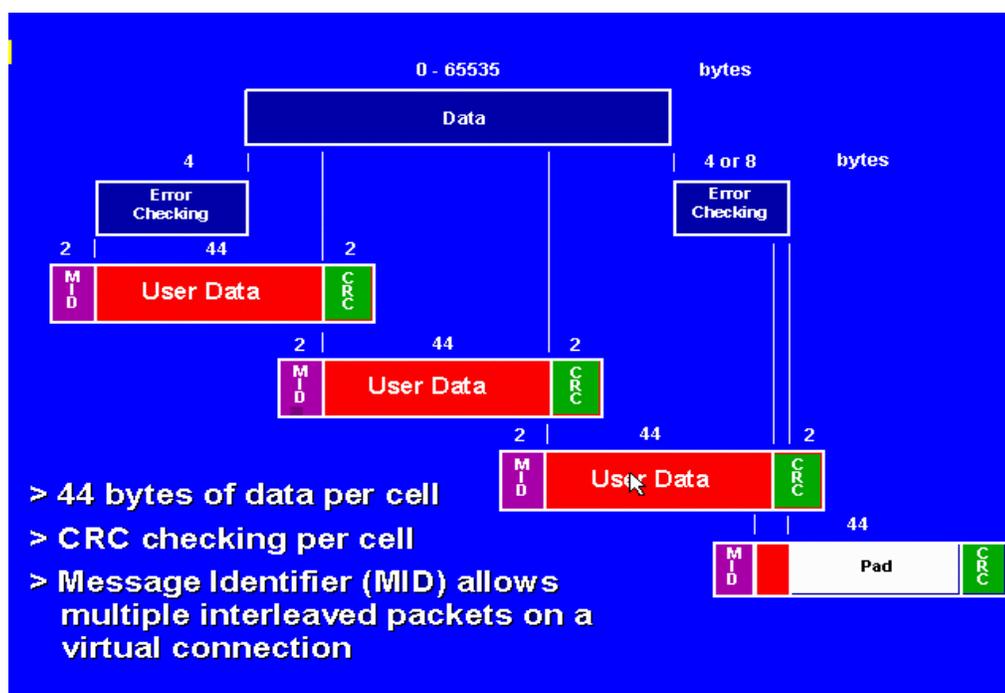


Figura 8.55.AAL3/4

- **AAL5**

Esta capa de adaptación es la más usada, pues se la utiliza para llevar señalización, ILMI(Interim Local Management Interface), IP/ATM, Frame Relay/ATM, MPEG2(ATM Forum Version), etc.

AAL5 es un protocolo basado en colas, a los datos a ser enviados se les agregan, al final 8 bytes, utilizados para CRC de 32(4 bytes),longitud(Length)(2 bytes),CPI(Common Part Indicator)(1 byte),UUI(User to User Interface)(1 byte) y una relleno(PAD)de entre 0 y 47 bytes para que el total pueda ser dividido en grupos exactos de 48 bytes[16].

Para que en el receptor se establezca cuando rearmar y cuando finaliza el rearmado de los datos se utiliza el bit PT del encabezado, que como se recordará es 0 salvo para la última celda, así se señala cuando debe terminar el rearmado, esto corresponde a un VPI/VCI determinado, lo que significa que no habrá intercalamiento de paquetes sino un envío secuencial de celdas correspondientes al mismo paquete.

En la **Figura 8.56**, vemos este proceso.

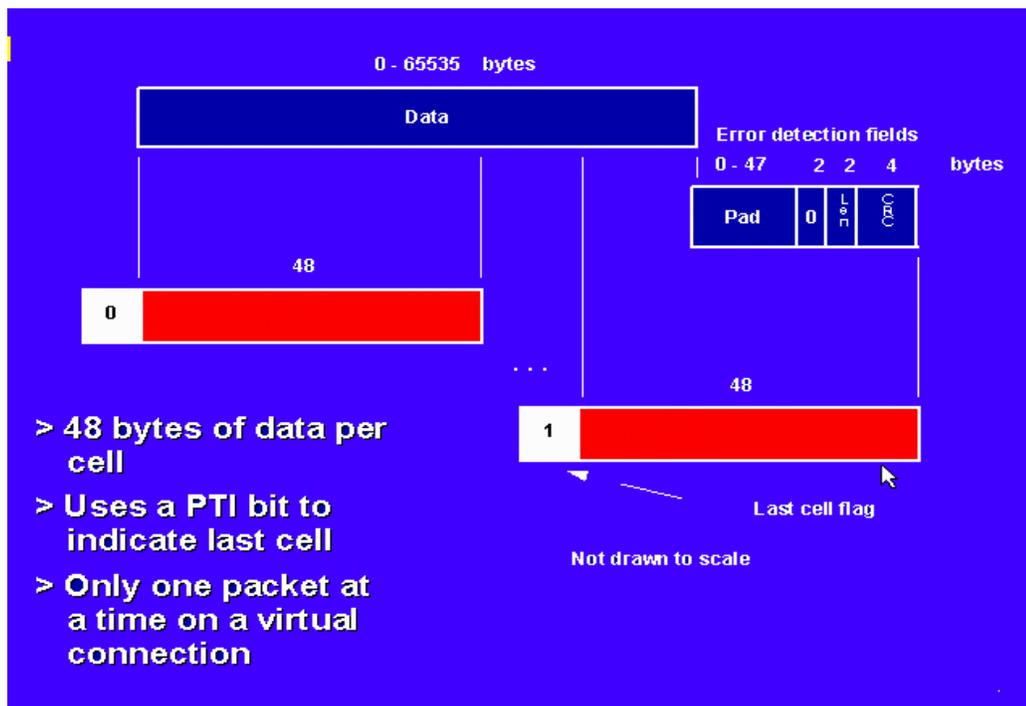


Figura 8.56.Celdas en AAL5.

8.6.7.-Calidad de Servicio(QoS).

El **contrato de tráfico** es un acuerdo entre el usuario y la red, negociado en el momento de la conexión y que consta de parámetros de velocidad y mecanismo de **UPC(Usage Parameter Control)[15],[16]**, para asegurar que el usuario obtiene la **calidad de servicio(QoS)** requerida, y que la red obtiene una garantía del usuario de que ciertos parámetros de **uso** no sean excedidos.

El usuario se compromete a cosas como: **PCR(Peak Cell Rate)** ó tasa máxima de celdas, **CDV(Cell Delay Variation)**, **SCR(Substained Cell Rate)** tasa mantenida de celdas(solo para **VBR, Variable Bit Rate**) y tamaño máximo de ráfagas.

Los parámetros de calidad de servicio que la red ofrece son normalmente cosas como pérdida de celdas(medida como una relación)y variación acumulada de demora de celdas.

Los usuarios finales no tienen interés en como sus datos son transportados, quieren que lleguen con exactitud y a tiempo, y una misma aplicación(TV por ejemplo) puede tener diferentes QoS dependiendo que el usuario sea un estudio de TV o simples televidentes.

El tráfico de clasifica en:

- **CBR**(Constant Bit Rate),las celdas se envían a una tasa constante negociada, se trata de tráfico **isócrono** como voz ó video no comprimido.
- **VBR**(Variable Bit Rate)las celdas se envían a cualquier velocidad hasta un máximo negociado, puede tratarse de voz ó video comprimido.
- **ABR**(Available Bit Rate)las celdas se envían a cualquier velocidad que el switch no haya dado a alguien más, se trata de tráfico de baja prioridad como el de transferencia de archivos.

El **método de supervisión** del tráfico implica mecanismos descritos en la **Sección 8.4.6.5** de algoritmo de tobo por goteo, de tobos dobles, descarte parcial de paquetes, descarte adelantado de paquetes, pérdida de celdas distribuída, etc[15].

8.7.-Comparación entre diversas tecnologías.

El cuadro siguiente puede ayudar a decidir cual tecnología para interconectar LANs puede sernos útil de acuerdo a nuestras necesidades.

	TIPO DE SERVICIO				
	Líneas dedicadas	Líneas conmutadas /discadas	PVC Frame Relay	SMDS	ATM
CONEXIÓN DE UNA RED TÍPICA					
♦ Pocos nodos, destino predecible	X		X		X
♦ Muchos nodos,destino predecible		X	X	X	X
♦ Pocos nodos,destino impredecible				X	X
♦ Muchos nodos,destino impredecible			X ⁵	X	X
♦ Broadcast					
CARACTERÍSTICAS DEL TRÁFICO.					
♦ Continuo	X	X			
♦ Tipo ráfaga			X	X	X
APLICACIÓN					
♦ Voz	X ⁶	X			X
♦ Video		X			X
♦ Imágenes fijas			X	X	X
♦ Multimedia					X

⁵ Futuro

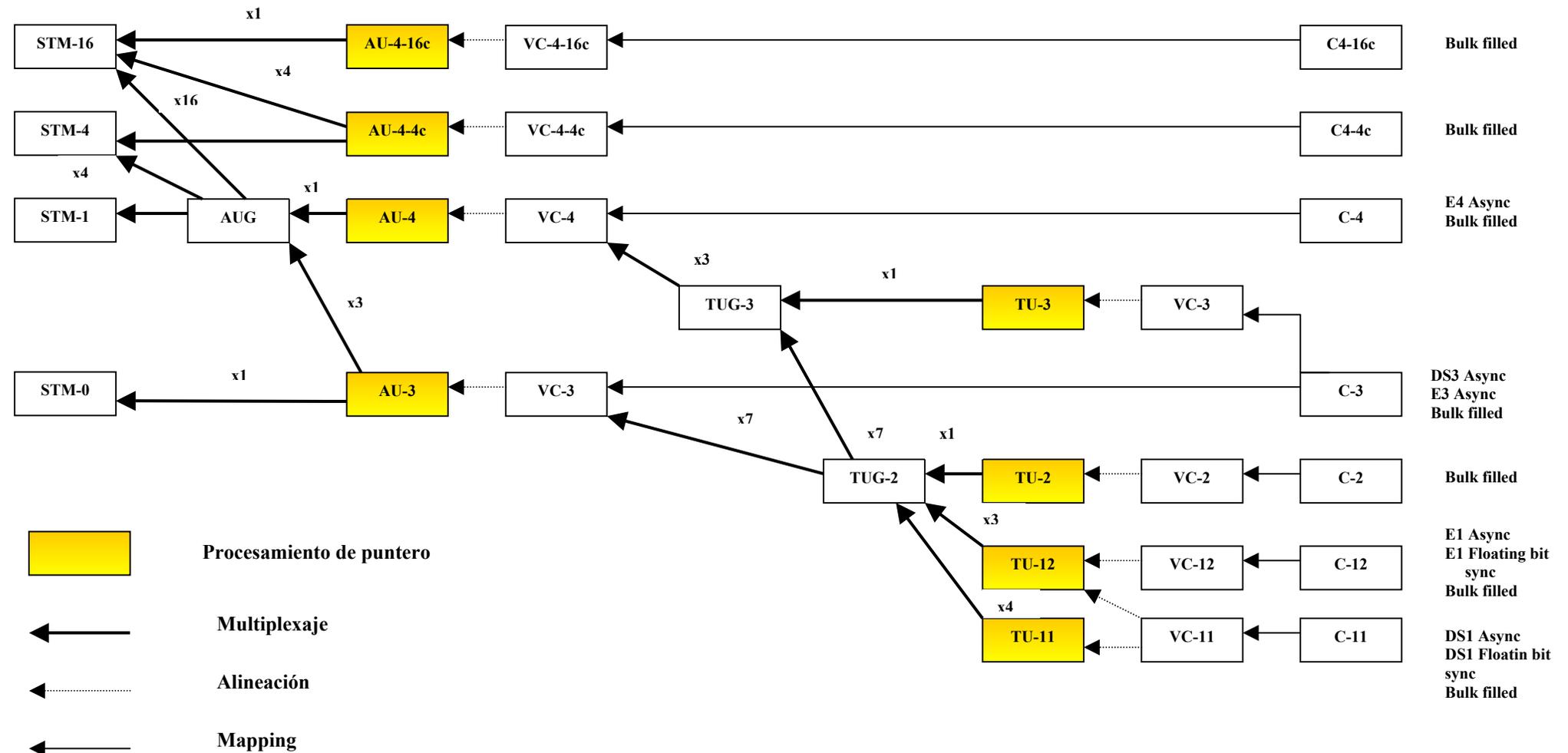
⁶ Carga pesada

ESTE CAPÍTULO ESTÁ EN CONSTRUCCIÓN, faltan desarrollar ADSL, Internet V6, Redes Inalámbricas, ISDN y B-ISDN.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **Siemens**, "Telecomunicación Digital" Tomo 2 Tecnología Crossconnect y Multiplexado, Marcombo.
- [2] **Hewlett Packard**, "Introducción a SDH" Tutorial.
- [3] **Tektronix**, Seminario de SDH, Richard Duvall 1995.
- [4] **Marconi**, "Synchronous Digital Hierarchy", se obtiene en <http://www.iec.org>
- [5] **Tektronix**, "Synchronous Optical Network"(SONET), se obtiene en <http://www.iec.org>
- [6] **"Wavelength Division Multiplexing, Past, Present & Future, Directions for Communications Networks"**, Fiber Optics News September 1999.
- [7] **Frame Relay Forum**, Tutorial "Basics.pdf".
- [8] **UCV, Cursos**, "Frame Relay".
- [9] **Cisco Corporation**, Curso de Redes, "Frame Relay"
http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/
- [10] **Parnell Teré**, "LAN Times Guide to WIDE AREA NETWORKS", Osborne, Mc Graw-Hill
- [11] **SMDS Handbook** publicado por Interconnect Communications LTD, Merlin House Station Road, Chepstow Gwent NP6 5PB United Kingdom.
- [12] **Cisco Corporation**, Curso de Redes, SDMS,
http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/
- [13] **Byeong Gi Lee,Minho Kang,Jonghee Lee**, "BroadBand Telecommunications Technology", Artech House 1993, Sección 5.4.
- [14] **ATM Forum**, Tutorial "Intermediate ATM".
- [15] **Hewlett Packard**, Seminario de Tecnología ATM, Caracas 1998.
- [16] **McDysan D. & Spohn D.**, "ATM, Theory and Application", Mc Graw-Hill 1994.
- [17] **Ponzo R. y Reyes J.**, Implementación de un Sistema de Supervisión y Administración para la Red de Datos de la Universidad de Carabobo, Trabajo especial de Grado presentado a la Universidad de Carabobo en 1998.

APENDICE A
Figura 8.12



C contenedor
TU Unidad Tributaria
AU Unidad Administrativa
C-4 140 Mbps **C-3** 45 y 34 Mbps **C-2** 6 Mbps **C-12** 2 Mbps **C-11** 1.5 Mbps
VC Contenedor Virtual
TUG Grupo de Unidades Tributarias
AUG Grupo de Unidades Administrativas

Estos datos, diagramas y figuras han sido tomados de las Recomendaciones de ITU-T, debe consultarse la última versión de ellas.