

2. INTRODUCCIÓN TEÓRICA

2.1. INTRODUCCIÓN A LAS TÉCNICAS DE MULTIPLEXACIÓN.

La multiplexación es un proceso que permite obtener una señal, que denominaremos **agregado**, a partir de la combinación de unos **afluentes** o **señales tributarias**.

La justificación de la necesidad de implementar un mecanismo de estas características es optimizar los recursos disponibles, como por ejemplo, el ancho de banda.

Hay distintos tipos de multiplexación:

- **Multiplexación por división en el tiempo (TDM)**: A cada afluente se asigna un intervalo de tiempo, en el cual es transmitido.
- **Multiplexación por división en frecuencia (FDM)**: Se divide el ancho de banda en diferentes bandas de frecuencia y se asigna una de ellas a cada afluente.
- **Multiplexación por división de código (CDM)**: Se basa en el uso de distintas codificaciones para cada afluente, que se puede transmitir compartiendo tiempo y frecuencia simultáneamente.
- **Multiplexación por división en longitud de onda (WDM)**: Se transmite cada agregado en una longitud de onda diferente, de forma que en el receptor puede ser filtrado ópticamente.

Una forma de clasificar los tipos de redes existentes es atendiendo al esquema de multiplexación que presentan.

Existen dos esquemas básicos de multiplexación, denominados **multiplexación determinista** y **multiplexación estadística**.

2.1.1. Multiplexación determinista.

Las características principales de esta técnica de multiplexación son las siguientes:

- Se tiene una asignación fija de los intervalos de tiempo para cada uno de los tributarios.
- La transmisión siempre es síncrona, es decir, los datos son transmitidos con un régimen binario (R_b) fijo.
- El régimen binario del agregado resultante es igual a la suma de los regímenes binarios de los tributarios y de la cabecera necesaria, la cual permite identificar a dicho agregado, realizar tareas de control de errores y posible justificación de bits, si ésta estuviera implementada.

- Las tramas se repiten un número regular de veces, por ejemplo, 8000 veces por segundo.
- Elevada eficiencia, entendida como el tanto por ciento que resulta de dividir el número de bytes que conforman la cabecera del agregado entre el número de bytes de la carga útil que transporta, es decir, de los tributarios.
- Simplicidad.
- Retardo pequeño.

En la figura 2.1.1.1 se representa un agregado que resulta de la multiplexación determinista de n tributarios. En ella se observa que el agregado siempre presenta una **cabecera (overhead)** que lo identifica. Esto da lugar a que una vez se localice dicha cabecera, la extracción de la carga que transporta (de los n tributarios) sea una tarea relativamente sencilla.

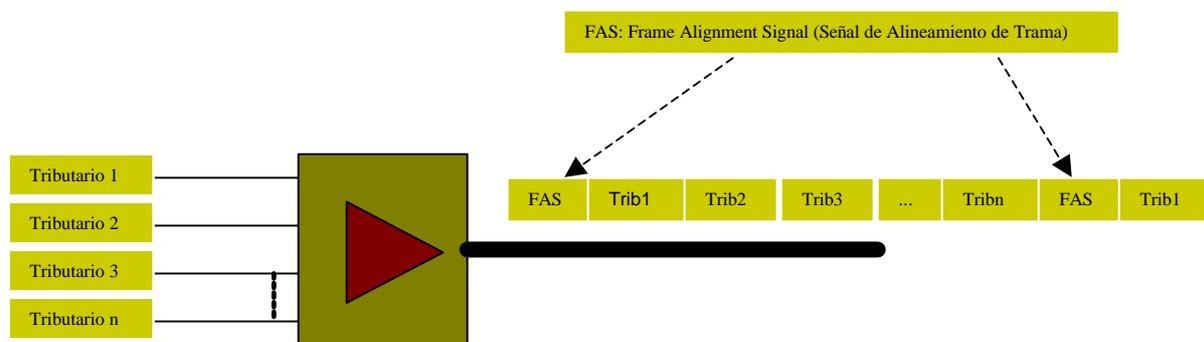


Figura 2.1.1.1

Una desventaja del esquema de multiplexación determinista que hay que destacar es que, si en un instante dado no hay tráfico, su área de carga queda libre, pero no puede ser ocupada por carga de otros usuarios. Esto implica que este esquema de multiplexación asigna parte de la capacidad del agregado a una comunicación, esté activa o no, con el consiguiente desaprovechamiento del ancho de banda. Además, cada usuario sólo dispone de una fracción del régimen binario total de la línea que comparte con otros dispositivos. Por lo tanto, resulta ineficiente para aplicaciones en transmisión de datos cuya naturaleza es **anisócrona**, es decir, tráfico caracterizado por ráfagas.

Algunos ejemplos de tecnologías que utilizan este esquema de multiplexación son:

- Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy).
- Jerarquía Digital Síncrona (SDH, Synchronous Digital Hierarchy).

2.1.2. Multiplexación estadística.

Para la transmisión de datos cuya naturaleza es anisócrona y de velocidad binaria variable, la **multiplexación estadística** es más eficiente.

Cada señal tributaria ocupa del agregado estrictamente la capacidad necesaria para transportar los datos que presenta en cada momento.

Cuando una señal tributaria no tiene datos que transmitir, queda libre la capacidad del agregado para los datos de otros usuarios, dando lugar a un mejor aprovechamiento de los recursos existentes, es decir, del ancho de banda disponible.

Las características fundamentales de este esquema de multiplexación son las siguientes:

- La transmisión puede ser síncrona o asíncrona. La transmisión es síncrona cuando la información aparece de forma periódica, mientras que es asíncrona si esto no se da.
- La velocidad del agregado puede ser inferior a la suma de las velocidades de los tributarios, ya que cada tributario transmite por ráfagas.

En la figura 2.1.2.1 se ilustra el proceso de multiplexación estadística de n tributarios. Se puede observar que cada unidad de datos multiplexada lleva su propia cabecera, por lo que la eficiencia (relación entre los bytes de las cabeceras y los bytes de información) es menor que en el caso de la multiplexación determinista. Otra consecuencia que se extrae es que puede resultar poco rentable económicamente transmitir información isócrona de velocidad binaria constante (voz, video).

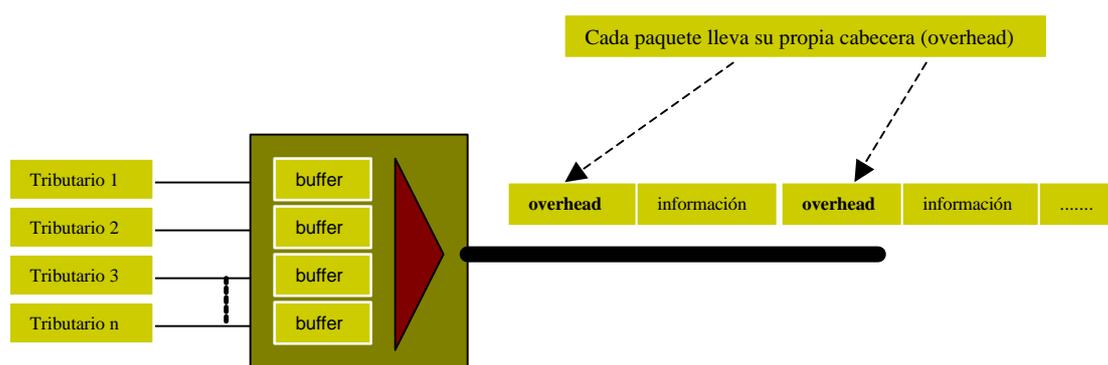


Figura 2.1.2.1

En este esquema de multiplexación el control y la demultiplexación son procesos más complejos. Además, cuando hay mucho tráfico simultáneamente, pueden darse problemas de congestión, con los consiguientes efectos de retardos y posibles pérdidas de datos.

2.2. JERARQUÍA DIGITAL PLESIÓCRONA (PDH).

2.2.1. Introducción.

La multiplexación utilizada en sistemas tradicionales de transmisión digital se denomina **Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy)**.

En la jerarquía europea, las velocidades de los tributarios son **2, 8, 34 y 140 Mbps**, correspondientes a las tramas **E1, E2, E3 y E4**, respectivamente.

Existe una trama a una velocidad más elevada (**565 Mbps**), para transmisión por sistemas de fibra óptica. Pero cuando la ITU-T definió la correspondiente Recomendación, había ya soluciones propietarias y, al mismo tiempo, comenzaba a definirse la Jerarquía Digital Síncrona, cuya trama básica tiene una velocidad binaria de 155 Mbps, por lo que no forma parte de dicha Recomendación.

En la jerarquía norteamericana, las velocidades estandarizadas son **1.5, 6 y 45 Mbps**, correspondientes a las tramas **T1, T2 y T3**.

2.2.2. Trama síncrona básica de 2 Mbps (trama E1).

La trama básica utilizada en los sistemas europeos es la de 2 Mbps, también denominada **trama E1**, la cual está definida en la Recomendación de la ITU-T **G.703**.

En la figura 2.2.2.1, puede apreciarse que la trama **E1** está subdividida en 32 intervalos de tiempo (**time slots**), cada uno de ellos con 8 bits. Tiene, por tanto, una longitud de **32 bytes** ($32 \times 8 = 256 \text{ bits}$). La trama tiene una frecuencia de repetición de **8000 veces por segundo**, es decir, se tiene una trama cada **125 μs** , por lo que la velocidad binaria resultante es de **2048 Kbps** ($256 \times 8000 = 2048000 \text{ bps}$).

La justificación de la frecuencia de repetición de la trama de 2 Mbps estriba en que el proceso **PCM (Pulse Code Modulation, Modulación por Impulsos Codificados)** establece, en la Recomendación de la ITU-T **G.711**, una frecuencia de muestreo de 8 KHz, es decir, de 8000 muestras por segundo de la señal analógica de voz (una muestra cada 125 μs).

La trama primaria o básica es un buen ejemplo de multiplexación determinista: el agregado está representado por la trama E1, y se forma mediante un proceso de multiplexación de 30 canales tributarios, a los que se le suma una cabecera que identifica a la propia trama y a la carga útil que transporta.

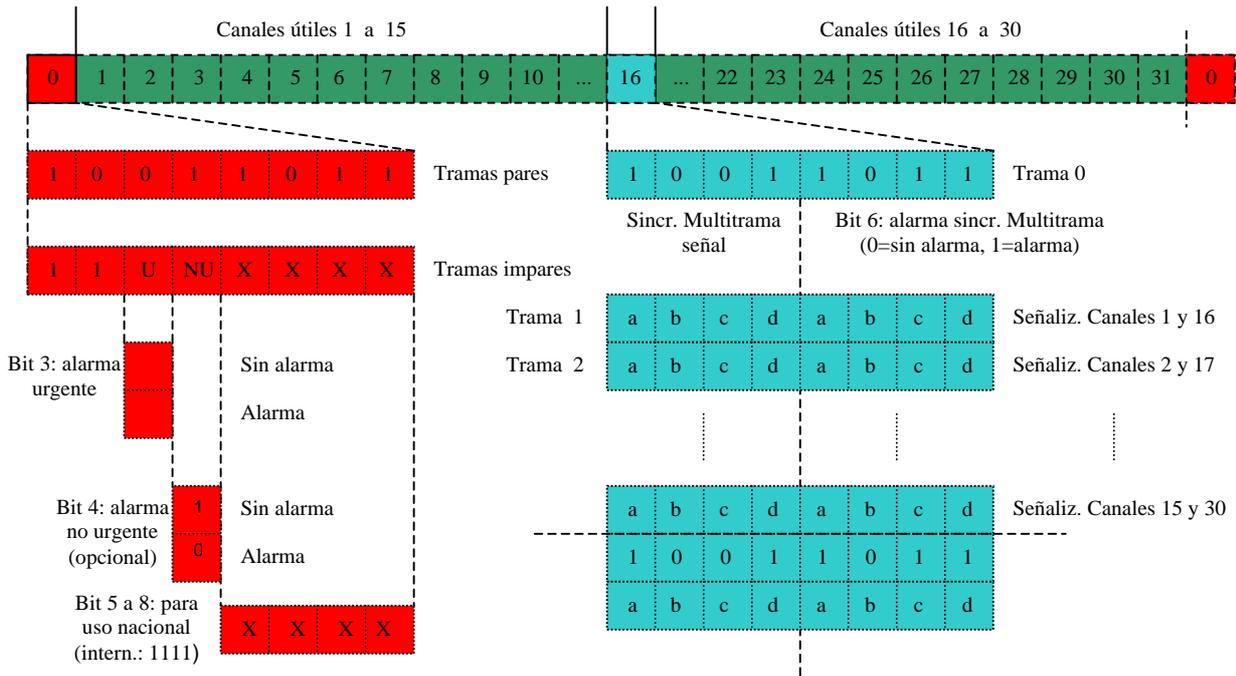


Figura 2.2.2.1

El *intervalo de tiempo cero* es utilizado para transportar la **Señal de Alineación de Trama (FAS, Frame Alignment Signal)**, la cual es transmitida cada dos tramas, alternándose con una **palabra de alarmas**, denominada **Not Frame Alignment Signal (NFAS)**.

El **intervalo de tiempo (slot) 16** se utiliza para transportar la señalización de los canales útiles, que puede ser **señalización CAS (Channel Associated Signaling)**, **señalización Canal D (Acceso Primario RDSI)**, o **señalización y control del protocolo de acceso V5**.

Con la introducción de la **señalización por canal común (SS #7)**, el intervalo de tiempo 16 pasa a utilizarse para transporte de un canal útil adicional: datos/voz de usuario. En este caso, la señalización de todos los canales útiles (de esa y de otras tramas) es transportada en un canal útil (de una de las tramas) designado para ello, pero de manera no asociada forzosamente a los canales de su propia trama.

2.2.3. La Jerarquía Digital Plesiócrona.

Las características principales de la **Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy)** pueden resumirse en los siguientes puntos:

- La multiplexación de tributarios para formar agregados de orden superior obedece a un esquema basado en un tratamiento a nivel de bits.

El multiplexor crea una trama local (E4, E3 o E2) con 4 espacios de carga destinados a transportar los bits de 4 tributarios de orden inmediatamente

inferior (E3, E2 o E1). Estos espacios de carga no están organizados byte a byte como sucede con la trama primaria de 2 Mbps, sino bit a bit.

Además, las tramas no se repiten 8000 veces por segundo, como ocurre con la trama de 2 Mbps, sino que según va aumentando el orden de la jerarquía, la frecuencia de repetición es mayor, siendo la longitud y la duración de las tramas también diferentes.

- La alineación de las tramas en los órdenes superiores de la jerarquía se realiza mediante una palabra de alineación de trama (**FAS, Frame Alignment Signal**), específica de cada nivel.
- Por último, los bits de servicio tienen una capacidad muy limitada, permitiendo apenas el transporte de alarmas. Esto da lugar a que los equipos terminales de línea se vean obligados a crear una trama no estandarizada para el transporte de información de gestión.

En la jerarquía europea (*figura 2.2.3.1*), cada nuevo rango jerárquico contiene 4 espacios de carga, intercalados bit a bit y precedidos de una señal de alineación de trama, la cual se repite con cada trama, y es, además, específica de cada trama. Cada uno de esos espacios de carga es suficiente para transportar los bits de un tributario de rango inmediatamente inferior. Cada espacio de carga tiene una capacidad ligeramente mayor que la estrictamente necesaria para los bits del tributario.

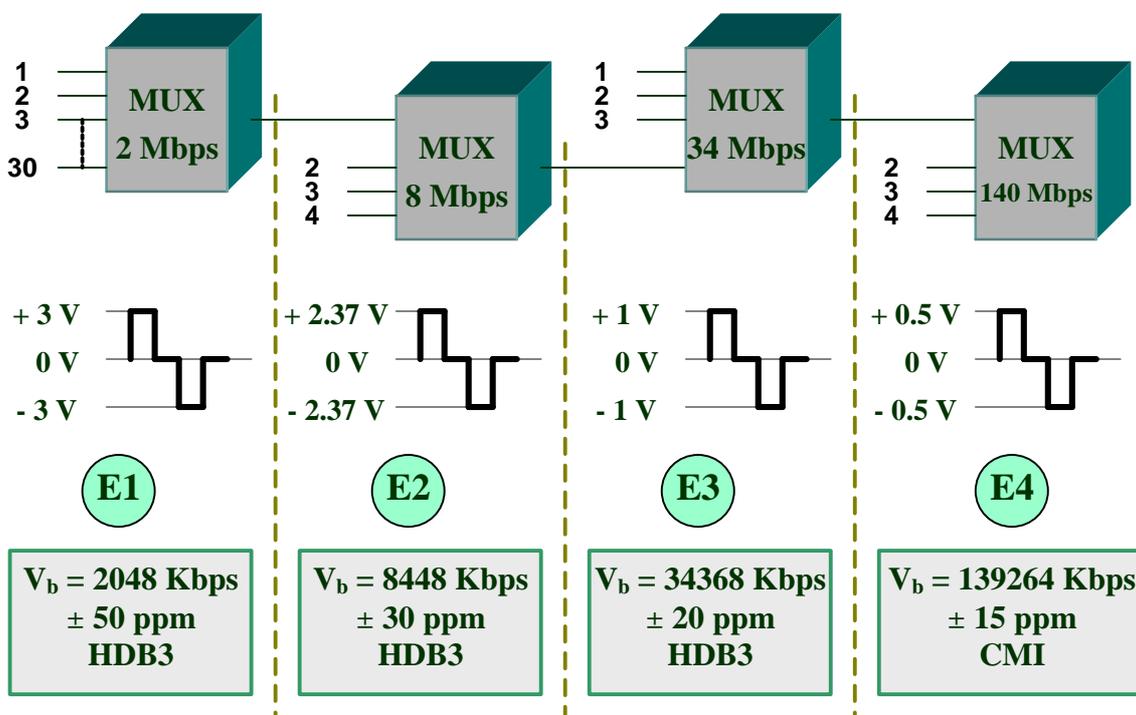


Figura 2.2.3.1

En una posición específica de la trama, el multiplexor tiene la opción de copiar o no un bit de información del tributario; cuando el desfase acumulado entre la velocidad del tributario y el espacio reservado alcanza un bit, el multiplexor deja de copiar información en ese espacio, avisando al demultiplexor para que lo salte al recuperar los bits de información del tributario transportado en ese espacio de carga. O sea, en el intervalo correspondiente a ese bit, la lectura de la memoria elástica no avanza, lo que constituye una justificación que compensa en 360 grados el desfase acumulado entre los relojes de escritura y de lectura. Este proceso recibe el nombre de **justificación positiva**.

El procedimiento de justificación permite que los multiplexores PDH operen con relojes propios, con una precisión que permite su realización con osciladores de coste relativamente reducido. El inconveniente de la Jerarquía Digital Plesiócrona es que, para localizar los bits de un tributario de baja jerarquía en una señal de línea de alta capacidad, la señal debe ser demultiplexada sucesivamente hasta el nivel deseado. Para la demultiplexación, los bits de una cierta jerarquía deben ser encauzados hacia un procesador específico de aquel nivel jerárquico, el cual busca la señal de alineación de trama para localizar los bits de los cuatro tributarios, procesar el control de justificación y separar los bits de información de los tributarios en 4 cauces distintos.

Todo este procedimiento involucra procesos sucesivos en interfaces eléctricos a varias velocidades (aunque en algunos casos esas interfaces sean internas).

Todos esos factores hacen que sea complicada la construcción de redes con muchos multiplexores para extracción e inserción de los tributarios bajos en señales de línea de alta velocidad. Las redes realizadas según la PDH son básicamente redes punto a punto, no siendo factible la realización de redes flexibles basadas en la Jerarquía Digital Plesiócrona.

2.3. JERARQUÍA DIGITAL SÍNCRONA (SDH).

2.3.1. Introducción a la Jerarquía Digital Síncrona.

La **Jerarquía Digital Síncrona (SDH, Synchronous Digital Hierarchy)** es un *“conjunto jerárquico de estructuras digitales de transporte de cargas adaptadas sobre redes de transmisión física”*. En definitiva, SDH supone la definición de las señales a utilizar en redes de fibra óptica (principalmente) mediante una determinada estructura de multiplexación, proporcionando servicios de transporte a diferentes tipos de señales digitales, como video, voz, Frame Relay, ATM, etc. Hay que tener en cuenta, no obstante, que las Recomendaciones sobre SDH no tratan única y exclusivamente sobre las estructuras de las señales síncronas y la forma en que se realizan los procesos de multiplexación asociados, sino que también tienen en cuenta todo lo relacionado con la arquitectura, mecanismos de protección, sincronización y gestión de la propia red síncrona.

2.3.2. Características de la Jerarquía Digital Síncrona.

La **Jerarquía Digital Síncrona (SDH)** representa una forma de multiplexar (de acuerdo con un esquema de multiplexación determinista) señales digitales

alternativa a la **Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH)** empleada desde mediados de los años 80.

Entre otras características fundamentales de SDH, se pueden mencionar:

- Simplificación del proceso de multiplexación de señales tributarias.
- Las tramas SDH, independientemente del orden de la jerarquía a la que pertenezcan, se organizan en bytes, no en bits. Esto supone que los espacios de carga destinados a los tributarios son intercalados **byte a byte**, es decir, la multiplexación de señales síncronas tributarias se realiza **byte a byte**.
- Tanto las tramas síncronas de línea (agregados, resultantes de procesos de multiplexación) como las tramas síncronas tributarias se repiten **8000 veces por segundo**, de forma análoga a la trama básica o primaria de **2 Mbps (trama E1)**.

Este último punto y el anterior dan lugar a que cada byte del espacio de carga tenga capacidad para transportar 64 Kbps. Además, hay que destacar que al presentar una tasa de repetición compatible en todos los niveles, los tributarios asignados en el espacio de carga no deben, en principio, desplazarse en fase respecto de la trama de línea, por lo que se facilitan y simplifican sucesivas demultiplexaciones.

- El inicio de las tramas de las señales tributarias, al contrario de lo que ocurre en la Jerarquía Digital Plesiócrona, no está indicado por una palabra de alineación de trama (**FAS, Frame Alignment Signal**), sino por **punteros**. En SDH, sólo existe la palabra de alineación de trama a la velocidad de línea. Las tramas tributarias, denominadas **contenedores virtuales**, tienen su inicio en el espacio de carga indicado por los **punteros**, que son números que indican en que posición del espacio de carga se inicia cada contenedor virtual.
- Los **punteros** sirven, además, para manejar eventuales diferencias de velocidad entre la señal tributaria (contenedor virtual) y el espacio de carga (llamado **unidad tributaria** o **unidad administrativa**, según el caso) en donde el contenedor virtual es copiado para ser transportado.
- Las tramas síncronas poseen una **cabecera (overhead)** muy grande, lo que permite que se designen varios canales de gran capacidad para funciones de **supervisión, operación**, monitorización de calidad, **mantenimiento** y **gestión** de los elementos de la red de transporte.
- Los interfaces ópticos de línea están estandarizados en todos los niveles de la Jerarquía Digital Síncrona, dándose el caso de que algunos niveles no poseen interfaz eléctrica.
- La **Jerarquía Digital Síncrona** representa la capa física de una red de transporte de interconexión (WAN, *Wide Area Network*). La forma en que se estructura la carga útil que es transportada en SDH ha de tener en cuenta el ancho de banda requerido y el tipo de tráfico: voz, datos, vídeo, ATM

(Asynchronous Transfer Mode), Internet, etc. De acuerdo con esta premisa, en los nodos que ofrecen interfaces de acceso al servicio de transporte, a veces nombrados **nodos de frontera**, los interfaces de acceso realizan el trabajo de **adaptación a SDH**.

La red SDH tiene definidos los métodos de adaptación requeridos por las cargas típicas transportadas en la red de interconexión. En el universo PDH están disponibles interfaces de acceso que adaptan señales de jerarquía europea en las correspondientes tramas, denominadas **contenedores virtuales**, de SDH (**2, 8, 34 y 140 Mbps**), y también señales de jerarquía americana (**1.5, 6 y 45 Mbps**).

Además de estas adaptaciones, también están definidas tanto la asignación (proceso que recibe el nombre de **mapping**) de **células ATM** como la asignación de **datagramas IP (Internet Protocol)** en las correspondientes tramas y subtramas de la SDH.

- Los elementos de red que operan en la capa física de la SDH tienen capacidad de **generar, interpretar, extraer, insertar y conmutar** las tramas y subtramas SDH. La funcionalidad interna del transporte en SDH no incluye la interpretación de las tramas PDH u otras que eventualmente estén contenidas en los contenedores virtuales. Esto implica que un **Cross-Connect** o un **ADM (Add and Drop Multiplexer)** síncronos no requieren que se interprete la carga de los tributarios (contenedores virtuales) por lo que una vez “empaquetada” o asignada la carga en esos contenedores virtuales en los nodos de acceso, sólo vuelve a ser “desempaquetada” al llegar al final del trayecto en la red de transporte.

Entre el origen y el destino, sin embargo, los contenedores virtuales pueden pasar por varios procesos de conmutación y paso temporales, de forma transparente, en los nodos (**ADMs y DXCs**) intermedios. Esos contenedores son tratados por la red como “cajas negras”.

Es esta característica la que permite **flexibilidad y sencillez**. Al ser directa la localización e identificación de los bytes que constituyen esos contenedores virtuales en SDH, y como los espacios de carga están claramente definidos, es posible realizar una conmutación y una extracción o inserción de contenedores virtuales entre las señales de línea.

2.3.2.1. Aplicaciones de SDH.

Las redes tradicionales PDH son jerárquicas y poco flexibles (los ADMs y los DXCs plesiócronicos son complejos y caros, lo que hace que su aplicación sea limitada), a diferencia de las redes de transporte basadas en SDH.

No obstante, y a pesar de su gran flexibilidad, los equipos SDH pueden utilizarse sin sacar ventajas de su potencial, incluso sólo como equipos de transmisión dentro de la concepción tradicional de red, exactamente como se vienen utilizando los equipos PDH. En este caso, los multiplexores / transceptores SDH se utilizarían en las redes de transporte sencillamente porque están disponibles (incluso equipos de muy alta capacidad, como es el caso de 2,5 Gbps, sólo están disponibles en SDH).

Para sacar mejor provecho a la flexibilidad de la SDH, las redes de interconexión síncronas deben obedecer a criterios distintos de planificación. Los circuitos de interconexión son de alta capacidad, con ADMs gestionados de forma remota para la configuración de los trayectos (de acuerdo con los distintos órdenes de la Jerarquía) entre estaciones terminales.

Así es posible que el usuario pueda acceder a la red de transporte a través de un interfaz de 155 Mbps (e incluso también a 622 Mbps) y contratar con el operador el transporte de señales tributarias (de cualquier orden de la Jerarquía, en función de las necesidades, requerimientos y disponibilidad) para realizar la interconexión de puntos terminales externos al dominio de la red del operador. Por lo tanto, la adaptación a la SDH se puede realizar en las redes de los abonados, siendo indiferente, desde el punto de vista del servicio de transporte, qué carga está asignada en los contenedores virtuales transferidos entre las interfaces de acceso de la red pública.

Por último, conviene resaltar que son múltiples los entornos en los que es conveniente la implantación de una red de transporte SDH: como red troncal (backbone) de una red de datos (Frame Relay, ATM, Internet), de voz (RDSI, Red Telefónica Conmutada), de una red de acceso basada en el protocolo V5.x, etc.

2.3.2.2. Ventajas de SDH.

La **Jerarquía Digital Síncrona (SDH)** presenta una serie de ventajas respecto a la **Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH)**, que vamos a estudiar a continuación.

- En primer lugar, el proceso de multiplexación es mucho más directo: la utilización de los punteros permite una localización sencilla y rápida de las señales tributarias dentro de la señal de línea, con la particularidad de que todo el procesamiento puede realizarse en un único procesador de señal **STM-1 (Synchronous Transport Module of 1st order)**, a **155 Mbps** (velocidad de la trama básica SDH).
- En segundo lugar, todo el **procesamiento**, independientemente de la velocidad de línea, se realiza a **nivel de STM-1**: las señales de velocidades superiores son **síncronas** entre sí y están en fase, por ser generadas localmente en cada nodo de red, consistiendo en cuatro, dieciséis o sesenta y cuatro procesos STM-1, dependiendo del orden en la Jerarquía SDH, multiplexados byte a byte.
- En tercer lugar, las tramas tributarias de las señales de línea, denominadas **contenedores virtuales**, pueden ser subdivididas para acomodar cargas plesiócronas, tráfico ATM o unidades tributarias de *menor orden*. Esto supone en la práctica la posibilidad de mezclar tráfico de distinto tipo y señales de jerarquías distintas en un mismo módulo básico STM-1, dando lugar a la planificación e implementación de **redes flexibles** mediante nodos de red síncronos que tienen la capacidad de copiar hacia y desde la señal de línea una o varias señales tributarias (**ADMs**) o copiar tributarias de una señal de línea hacia otras señales de línea, implementando una matriz temporal de conmutación de contenedores virtuales (**Cross-Connects**).

- En cuarto lugar, se destaca que, aunque hay una compatibilidad eléctrica y óptica entre los equipos de los distintos suministradores gracias a los estándares internacionales, la gestión local de los nodos de red suele ser propietaria, por lo que la implementación de una **Red de Gestión de Telecomunicaciones (TMN, Telecommunication Management Network)** puede, pese a su complejidad, centralizar y “universalizar” la gestión y operación de los elementos de red.
- Por último, tanto la estandarización de los procesos como la integración de funciones en los equipos de red, da lugar a una reducción del costo de los equipos de transmisión.

2.3.2.3. Desventajas de SDH.

A pesar de las claras ventajas que ofrece la Jerarquía Digital Síncrona, cabe mencionar algunas desventajas que presenta.

- Muchas de las redes PDH actuales ya poseen cierta flexibilidad debido al uso de “repartidores electrónicos” (*cross-connects*). Éstos no son directamente compatibles con la red SDH, por lo que la integración de esas redes en un plan SDH puede llegar a ser muy laboriosa.
- Las tareas de planificación y mantenimiento son muy distintas en los casos de SDH y PDH. Los enlaces generalmente son a alta velocidad, lo que implica consideraciones especiales en cuanto al medio de transmisión. Los trayectos son flexibles, pero esa flexibilidad sólo funciona correctamente con un buen sistema de gestión informatizado.
- El sincronismo entre los nodos de la red SDH debe ser garantizado con la planificación de una red robusta de distribución de la temporización. Otros problemas relacionados con la sincronización resultan de la incapacidad de la Jerarquía Digital Síncrona para transportar informaciones fiables de temporización en la carga de los contenedores virtuales.

La manera de transportar temporización en redes SDH es utilizar para ello la señal de línea, lo que exige que todos los servicios (transmisión, conmutación, datos y los clientes) trabajen con una misma referencia de temporización. La PDH transporta de forma prácticamente transparente la temporización en sus tributarios, pero no así la SDH. Por lo tanto, con la introducción de la SDH, los relojes deben estar implementados para soportar adecuadamente los servicios más exigentes de cada edificio. Además, las conmutaciones de protección, reconfiguraciones de la red e intervenciones de mantenimiento no pueden perjudicar a la calidad de la referencia de temporización en los edificios.

- Se destaca, por último, que la cabecera de sección es *muy grande*. Las consideraciones de compatibilidad también hicieron que no se haya buscado la optimización de ancho de banda al definir las tramas, entendiéndose esto desde el punto de vista de eficiencia: número de bytes de cabecera frente a número de bytes de carga útil. Para transmisión por fibras ópticas, esto no es un problema; pero en radio, este hecho produjo inicialmente ciertas

dificultades a los diseñadores de equipos, ya solucionadas con los nuevos equipos de radio actuales.

2.3.3. Módulos de Transporte Síncrono: STM-N. Concepto de Multiplexación Síncrona.

2.3.3.1. La trama STM-0/STS-1

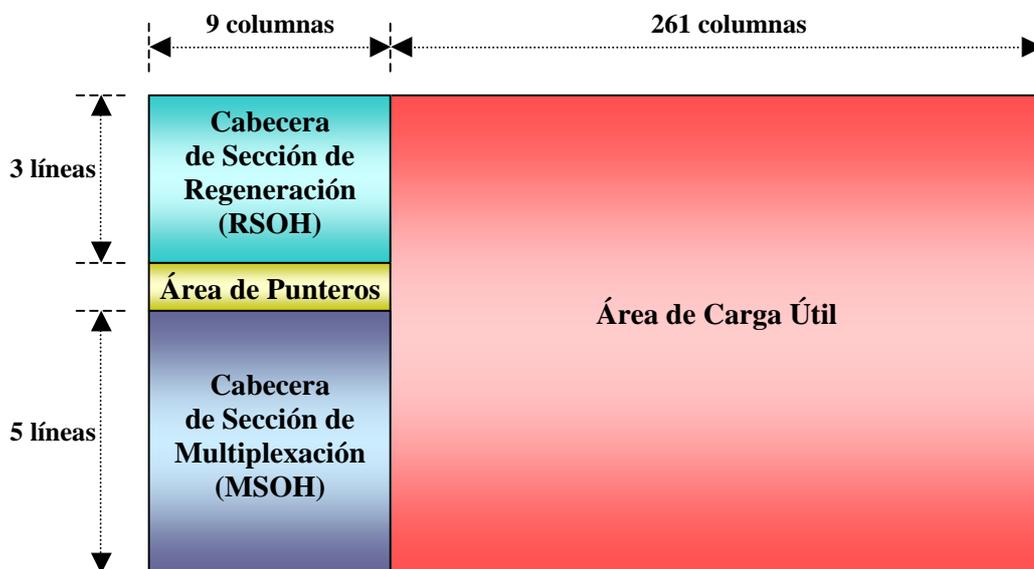
La trama básica de la Jerarquía Digital Síncrona europea (**ETSI**) es la trama **STM-1 (STM, Synchronous Transport Module: Módulo de Transporte Síncrono)**, la cual presenta un régimen binario de **155 Mbps**.

La trama básica de la Jerarquía Digital Síncrona americana (**ANSI, Belcore**) es la trama **STM-0** o **STS-1 (STS, Synchronous Transport Signal: Señal de Transporte Síncrono)**, siendo su velocidad binaria **51840 Kbps**.

Existe una compatibilidad entre las tramas de la Jerarquía Digital Síncrona europea (**ETSI**) y la americana (**ANSI, Bellcore**), a diferencia de lo que ocurriría en el caso de la Jerarquía Digital Plesiócrona. Por ejemplo, la trama STM-1 (155,520 Mbps) puede obtenerse como resultante de un proceso de multiplexación de 3 tramas STS-1 (51840 Kbps).

2.3.3.2. La trama STM-1.

En la *figura 2.3.3.2.1* se puede observar la estructura básica de la **trama STM-1**. Por razones de comodidad y facilidad de representación, la trama, que tiene **2430 bytes**, está representada por **9 bloques de 270 bytes**.



Trama **STM-1**: 2430 bytes (en 125 μ s)
RSOH (Regenerator Section OverHead): 27 bytes
MSOH (Multiplexer Section OverHead): 45 bytes
 Área de Carga Útil: 2358 bytes

Figura 2.3.3.2.1

Los primeros nueve bytes de la cuarta línea, los cuales forman parte del área de carga, representan el área en donde se encuentra situado, en el caso europeo, el puntero que permite localizar la señal tributaria que transporta la señal de línea STM-1, la cual recibe el nombre de AU-4.

Los 9 primeros bytes de las tres primeras líneas forman la **cabecera de sección de regeneradores (RSOH, Regenerator Section OverHead)** y su contenido es examinado y puede ser modificado no sólo por las estaciones terminales de una sección múltiplex, sino también por los regeneradores de línea. Contienen, entre otras cosas, la señal de alineación de trama, etiquetas, informaciones de gestión, supervisión de errores en la señal de línea (sección de regeneración) y canales de servicio (analógico y digital).

Los 9 primeros bytes de las líneas 5 a 9 pueden ser accedidos por los nodos de red (terminales de sección múltiplex) y se denominan **cabecera de sección de multiplexación (MSOH, Multiplex Section Overhead)**. Estos bytes contienen supervisión de errores de sección múltiplex, canales de control de la conmutación de protección, de servicio y canales reservados para uso futuro.

La *figura 2.3.3.2.1*, en forma de matriz, puede dar la idea de que los bloques (líneas) son transmitidos en paralelo. Pero, como puede verse en la *figura 2.3.3.2.2*, esto no es así: los bytes son transmitidos secuencialmente, uno tras otro, de izquierda a derecha y de arriba abajo, desde el primer byte de la primera línea hasta el último byte de la primera línea, continuando con el primer byte de la segunda línea, y así hasta el último byte de la última línea.

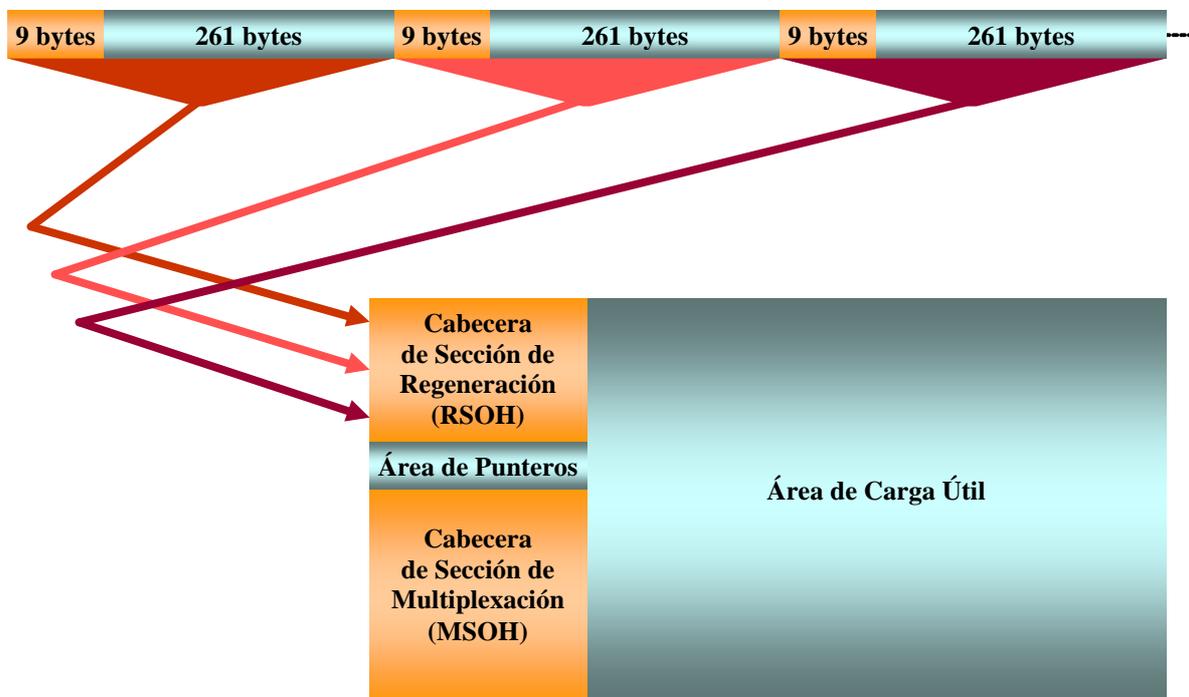


Figura 2.3.3.2.2

En realidad, se habla de transmitir bytes en secuencia, pero la señal estandarizada es secuencial; es decir, cada byte en realidad son ocho bits en secuencia, siendo la señal transmitida bit a bit.

Cada elemento de la red SDH localiza la trama STM-1 a través de una secuencia repetitiva en la trama, que es la señal de alineación de trama, contenida en los 6 primeros bytes de la trama. Una vez alineado a la trama de línea, el elemento de red sabe entonces en donde encontrar los canales de servicio en la cabecera, los bytes de punteros que indican la posición exacta del comienzo de las señales tributarias transportadas por la señal de línea, y los bytes de carga útil.

2.3.3.3. La trama STM-4.

La Jerarquía Digital Síncrona está estructurada en niveles *jerárquicos*. La trama básica o primaria en SDH es la trama STM-1 a 155,520 Mbps. La siguiente trama de la Jerarquía recibe el nombre de STM-4, la cual presenta una velocidad binaria de 622,08 Mbps y es la resultante de un proceso de multiplexación, byte a byte, de cuatro tramas STM-1 (*figura 2.3.3.3.1*).

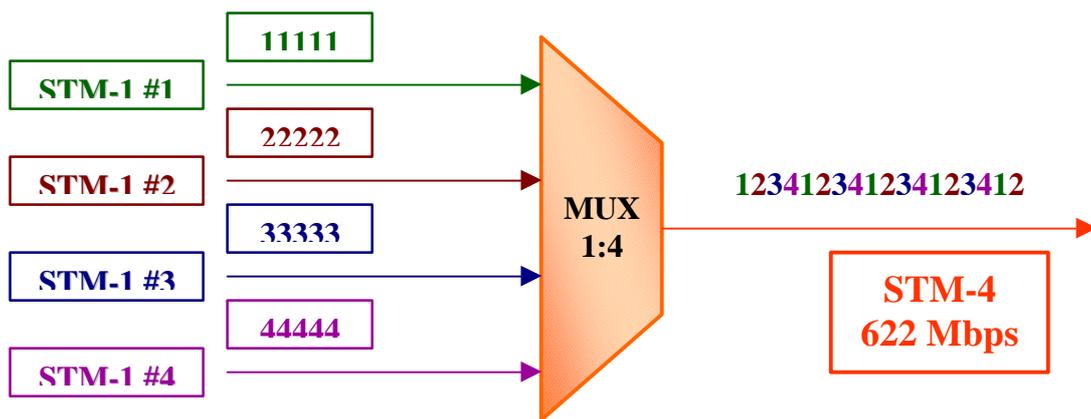


Figura 2.3.3.3.1

2.3.3.4. La trama STM-16.

La trama STM-16, cuya velocidad binaria es de 2,48832 Gbps, se forma a partir de un proceso de multiplexación síncrona, byte a byte, de cuatro tributarios STM-4 (622,08 Mbps).

Podemos observar que todos los procesos tienen lugar a nivel de STM-1. Esto implica que el multiplexor síncrono extrae los cuatro STM-1s embebidos en cada uno de los tributarios STM-4, por lo que, en realidad, se multiplexan 16 tramas STM-1 para obtener la señal STM-16 resultante.

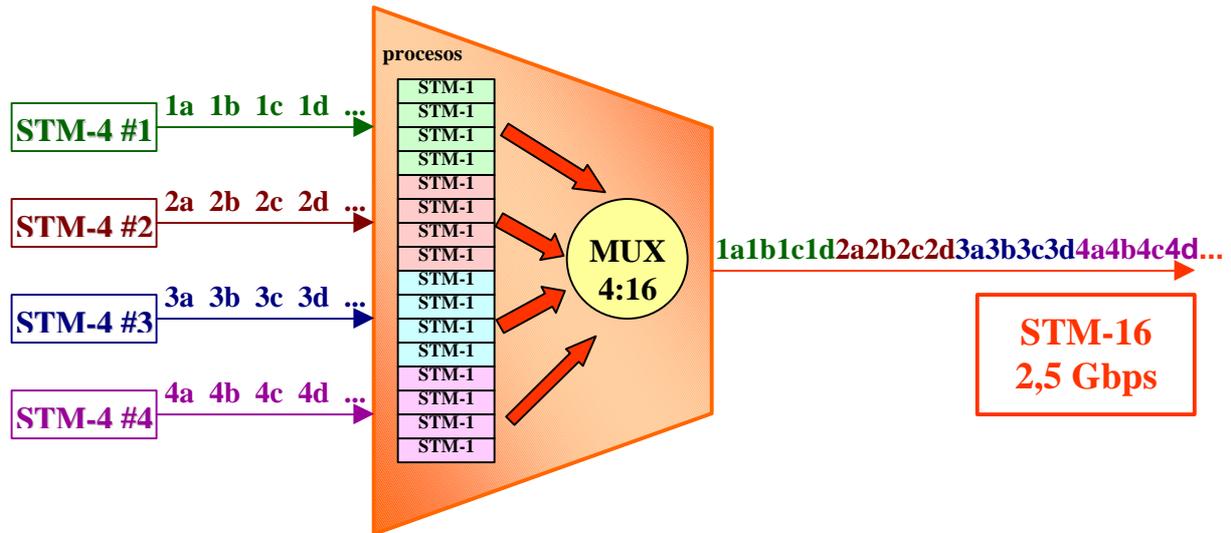


Figura 2.3.3.4.1

Esto último implica que, en un ADM síncrono, se puede multiplexar un módulo básico STM-1 en una trama STM-16 sin necesidad de una etapa intermedia (STM-4). Esto supone una ventaja respecto de PDH, en la que una trama de 2 Mbps no se puede multiplexar directamente a una trama de 140 Mbps, sino que necesita dos procesos intermedios de multiplexación (a 8 y 34 Mbps, respectivamente). Y a la inversa, en un ADM síncrono se puede extraer directamente un tributario STM-1 de un agregado entrante a 2,5 Gbps (STM-16), sin necesidad de realizar ningún paso intermedio.

Se destaca, por último, que la trama de línea STM-N tiene un aspecto similar a la trama STM-1. La diferencia es que mientras la STM-1 presenta un byte, la trama STM-N presenta N bytes (correspondientes a los bytes que se encuentran en la misma posición en las correspondientes N tramas), es decir, en una señal STM-N coexisten N señales STM-1. Cualquier acción que se haga con la carga exige que los bytes del flujo STM-1 en que se encuentra la carga sean separados del flujo total STM-N y encauzados hacia un procesador STM-1. Para tener acceso a los N flujos de una señal STM-N en un determinado nodo, es necesario que ese nodo esté dotado de N procesadores STM-1, y que cada cual reciba los bytes correspondientes a uno de los flujos STM-1 multiplexados.

2.3.3.5. Metodología de Multiplexación Síncrona.

En el cuadro de la *figura 2.3.3.5.1* aparecen reflejadas las tramas síncronas que conforman la Jerarquía Digital Síncrona tanto europea (ETSI) como americana (ANSI), así como sus velocidades binarias asociadas.

En el caso de la SDH europea, las señales síncronas son: STM-1 (trama básica), STM-4, STM-16 y STM-64; cada una de ellas a 155,52 Mbps, 622,08 Mbps, 2,4832 Gbps y 9,95328 Gbps, respectivamente.

Designación ITU-T / ETSI	Designación SONET	Régimen binario (Mbps)
STM-0	STS-1 / OC-1	51,84
STM-1	STS-3 / OC-3	155,52
STM-3	STS-9 / OC-9	466,56
STM-4	STS-12 / OC-12	622,08
STM-6	STS-18 / OC-18	933,12
STM-8	STS-24 / OC-24	1244,16
STM-12	STS-36 / OC-36	1866,24
STM-16	STS-48 / OC-48	2488,32
STM-64	STS-192 / OC-192	9953,28

Figura 2.3.3.5.1

Hay que destacar que el proceso de multiplexación de 4 señales tributarias síncronas para formar un agregado síncrono de orden superior se realiza byte a byte. Además, todo el procesamiento se realiza a nivel de STM-1. De esta forma, un agregado de 9,95328 Gbps correspondiente a la señal síncrona STM-64 se forma mediante multiplexación de 64 señales STM-1. Los afluentes son tributarios STM-16, por lo que debe tener lugar un proceso de extracción de los STM-1 embebidos en cada uno de ellos, para obtener el agregado resultante.

No es posible multiplexar procesos STM-1 que no sean síncronos entre sí y que no estén en fase.

El multiplexor siempre multiplexa procesos STM-1 estrictamente locales. Por lo tanto, es necesario implementar un mecanismo que permita añadir en un anillo SDH STM-N un proceso STM-1 proveniente de un nodo remoto o que permita realizar la multiplexación síncrona de cuatro tributarios STM-1 procedentes de distintas fuentes de temporización para formar un STM-4, por ejemplo.

Este proceso de multiplexación en un nodo síncrono es bastante sencillo: cada nodo de red que recibe un STM-N de fuera, localiza y extrae la carga (contenedores virtuales), y vuelve a asignarla en procesos generados localmente (*figura 2.3.3.5.2*). Al hacerlo, puede tener que realizar justificaciones periódicamente, si esa carga fue generada con un reloj ligeramente distinto al reloj del nuevo espacio de carga generado localmente.

La carga (contenedores virtuales, transportados por las señales síncronas) no tiene relación de fase predefinida con respecto al espacio de carga (denominado **unidad administrativa o tributaria**) en que es transportada. Los bytes son copiados

hacia delante a medida que van llegando, caigan donde caigan en el espacio de carga. La alineación está garantizada por el cálculo de un **nuevo valor de puntero**.

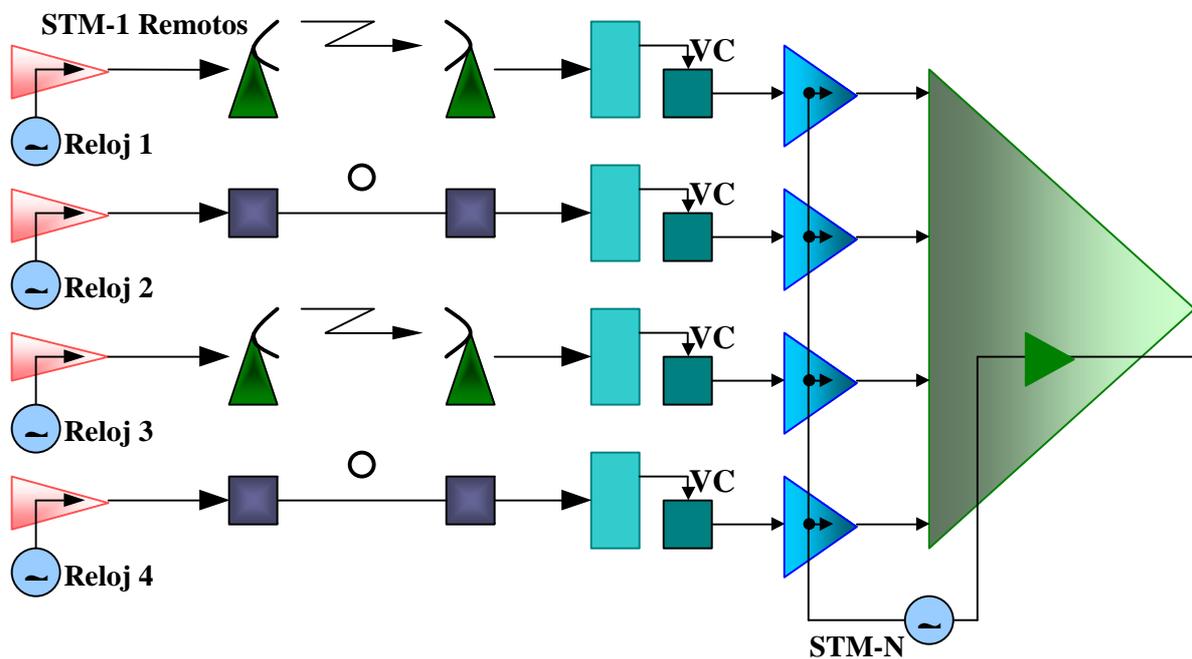


Figura 2.3.3.5.2

Esta facilidad permite trabajar con memorias elásticas pequeñas, las cuales sólo tienen que ser suficientes para acumular desfases de 1 o 3 bytes en ambos sentidos para garantizar la continuidad de la información hasta que sea posible justificar. De esta forma, el coste de esas memorias elásticas es bajo y los retardos introducidos por ellas son muy pequeños.

La justificación por bytes completos tiene la ventaja de **no transferir** los efectos de **jitter** y **wander** a la salida. Habiendo variaciones periódicas de la fase, no es necesario justificar, siempre y cuando el desfase acumulado nunca exceda a 1 o 3 bytes, según el caso.

Los tributarios o **contenedores virtuales** transportados en las tramas de línea SDH no tienen que ser necesariamente síncronos a los espacios de carga en donde son copiados: disponen de un mecanismo que permite corregir desfases acumulados debido a diferencias instantáneas de velocidades (a través de movimientos de los punteros).

Este no es el caso de la multiplexación de tramas STM-1 en tramas de línea de alta velocidad (STM-N, N = 4, 16, 64). Para que este proceso resulte sencillo, la multiplexación a velocidades superiores se realiza de forma completamente síncrona. Los tributarios STM-1 multiplexados son todos ellos **síncronos entre sí**, y **están en fase**.

El multiplexor STM-N no crea una nueva trama con un reloj propio. No hay una nueva palabra de alineación de trama y espacios de carga con posibilidad de justificación de los procesos STM-1 individuales multiplexados, como ocurría en los procesos de multiplexación de la Jerarquía Digital Plesiócrona.

El proceso de multiplexación es muy sencillo. Consiste en intercalar los bytes de los N procesos STM-1, locales, síncronos y en fase, y transmitirlos a una velocidad exactamente N veces más alta. De esta manera, no es necesario procesar la señal a la velocidad de línea. En realidad, la señal de línea está constituida de N procesos STM-1 paralelos e independientes. Todo el procesamiento lógico de la carga contenida en la señal se realiza a nivel de STM-1.

Naturalmente, la **cabecera (overhead)** de una trama STM-N es N veces mayor que la cabecera de la trama STM-1. Como tanta capacidad no es necesaria, en realidad sólo se utilizan los canales de servicio correspondientes a la primera de las N tramas multiplexadas, quedando los bytes correspondientes libres en las demás (N-1) tramas (**relleno fijo**). Algunos canales de servicio están ocupados por los procesos STM-1 individuales, y no por la sección de Multiplexación, siendo utilizados, por tanto, en los N procesos.

Para una demultiplexación correcta, la ventana de bytes (grupos de 8 bits) del demultiplexor tiene que estar correctamente ubicada. En el inicio del proceso, no se sabe cuál es la posición correcta de la ventana. Un proceso corriendo en la primera de las N salidas (internas) STM-1 del DEMUX busca la palabra de alineación de trama, retroalimentando el DEMUX para que mueva la ventana en pasos de 1 bit hasta encontrarla. Una vez encontrada la ventana de bytes, ese mismo proceso busca conocer a cual de los N STM-1 está enganchado, haciendo al multiplexor mover la ventana en pasos de 1 byte hasta estar enganchado al primer STM, para de esa manera tener acceso a los canales de servicio.

2.3.4. Asignación de Carga Útil: Definiciones.

Es este apartado, vamos a definir y caracterizar la forma en la que se realiza la asignación de la carga útil de una señal síncrona STM-N, y la estructura de todas las tramas y subtramas de dicha señal.

2.3.4.1. Definición de Contenedor Virtual. Clasificación.

En primer lugar, hay que destacar que las subtramas síncronas son conjuntos de bytes situados en posiciones definidas de la trama de línea en donde son transportadas, pero no corresponden a interfaces físicas, es decir, no hay interfaces eléctricas u ópticas a velocidades inferiores a 155 Mbps en SDH. Por esta razón, esas subtramas son denominadas **virtuales**.

Para imaginar mejor el proceso, basta pensar en las tramas de 2 Mbps con las cuales trabajan centrales y *cross-connects* corrientes. Aunque esos equipos conmuten canales de $n \times 64$ Kbps, no poseen interfaces de $n \times 64$ Kbps internamente. En ese aspecto, los tributarios conmutados también serían tributarios virtuales de la trama de 2 Mbps, aunque no reciben ese nombre.

Las subtramas de SDH reciben el nombre de **contenedores virtuales (VC, Virtual Container)**, porque su función consiste en **contener** secuencias binarias a las velocidades PDH, canales de $n \times 64$ Kbps directamente, o células de un flujo de tráfico ATM, y son **virtuales** porque su ámbito se circunscribe única y exclusivamente al de la red SDH.

Un **contenedor virtual** (subtrama de SDH) incluye un espacio de carga y una **cabecera de trayecto (POH, Path OverHead)**. Un **contenedor** es el *espacio de carga de un contenedor virtual*, es decir, es el propio *contenedor virtual* menos los bytes de la cabecera de trayecto, tomado como un bloque y designado para el transporte de carga.

Existen dos tipos de contenedores virtuales:

- **Contenedores virtuales de orden bajo:** Estos contenedores virtuales siempre están formados por la cabecera de trayecto y el contenedor del nivel correspondiente.
- **Contenedores virtuales de orden bajo:** Estos contenedores virtuales pueden formarse de dos maneras distintas:
 - ✓ Cabecera de trayecto y contenedor del nivel correspondiente (igual que los contenedores virtuales de nivel bajo).
 - ✓ Se divide el contenedor de nivel en espacios más pequeños, llamados Unidades Tributarias, y, luego, se añade la cabecera de trayecto. Así, el contenedor virtual estaría formado por la cabecera de trayecto y un conjunto de grupos de unidades tributarias.

2.3.4.2. Definición de Unidad. Clasificación.

En SDH, el nombre **unidad** se utiliza para designar un área de carga para el transporte de un contenedor virtual.

Haciendo un símil con la trama de 2 Mbps, es como llamar “unidad” a los *time slots* de esa trama, porque cada *time slot* constituye el espacio de carga para un tributario de 64 Kbps. Además, se pueden concatenar n *time slots* para constituir un espacio de carga suficientemente grande para transportar una señal de $n \times 64$ Kbps, lo que constituiría una “unidad” de orden más elevada.

Una **unidad** es, por lo tanto, un grupo de bytes **en posiciones fijas** y conocidas dentro de una trama o subtrama de la SDH, destinado al transporte de un contenedor virtual.

Una **unidad administrativa (AU, Administrative Unit)** es una subdivisión del espacio de carga de la trama de línea.

Una **unidad tributaria (TU, Tributary Unit)** es una subdivisión del espacio de carga de un contenedor virtual.

En la jerarquía ETSI, sólo el contenedor virtual de 4^o orden puede contener unidades tributarias; el contenedor de 3^{er} orden no se subdivide en unidades dentro de lo que es la jerarquía ETSI.

En la Jerarquía ANSI, no se utiliza el contenedor de 4^o orden. El contenedor de orden alto es el de 3^{er} orden, el cual puede subdividirse en unidades tributarias más pequeñas.

Cuando se subdivide el espacio de carga de una trama, resulta inicialmente un **grupo de unidades administrativas o tributarias**.

En principio, ésta podría ser la subdivisión final si los espacios de carga así subdivididos fueran utilizados para transportar contenedores virtuales de tamaño compatible con las subdivisiones. Por ejemplo, los grupos de unidades tributarias de 3^{er} orden pueden ser utilizados, transformados en unidades tributarias de 3^{er} orden, para el transporte de contenedores virtuales de 3^{er} orden.

Si se van a transportar contenedores virtuales más pequeños, los grupos de unidades tributarias se siguen subdividiendo. Por ejemplo, un grupo de unidades tributarias de 3^{er} orden se puede subdividir en 21 unidades tributarias de 1^{er} orden para el transporte de 21 contenedores virtuales de 1^{er} orden, o ser transformado en una sola unidad tributaria de 3^{er} orden para transportar un solo contenedor virtual de 3^{er} orden.

Una **unidad tributaria o administrativa** es una de esas subdivisiones ya designada para el transporte del contenedor virtual que corresponde. El espacio de carga de la unidad es compatible con el tamaño del respectivo contenedor virtual, presentando tantos bytes de espacio 8000 veces por segundo como bytes tiene el contenedor virtual, también 8000 veces por segundo.

Cada unidad tributaria o administrativa posee un **puntero** que se encuentra en una posición fija. Las posiciones dentro de la unidad son marcadas por el puntero. Ese puntero es un número que va a indicar a qué distancia del inicio del área de carga (posición cero) se encuentra el primer byte del contenedor virtual. Como el proceso es continuo, y como el contenedor virtual cabe exactamente en el área de carga de la unidad, ese número permanecerá constante, a menos que ocurra una justificación.

Para la justificación **negativa**, cada unidad posee una posición extra dentro del área de punteros (para el envío eventual de uno o tres bytes extras de carga, corrigiendo un desfase positivo).

La justificación **positiva** utiliza la posición cero, que en la trama en que excepcionalmente ocurre la justificación deja de contener carga.

Ambas justificaciones hacen desplazar todos los bytes de la carga, a partir del momento mismo de la justificación, una posición hacia delante (justificación positiva) o hacia atrás (justificación negativa).

Una trama STM-N contiene N grupos de unidades administrativas. El grupo de unidades administrativas está compuesto por un cierto número de unidades administrativas de cierto orden.

Por ejemplo, una trama STM-1 posee un **AUG (Administrative Unit Group) (Grupo de Unidades Administrativas)** que igual puede ser una sola **AU-4** (Unidad Administrativa de 4º orden) o tres **AU-3** (Unidad Administrativa de 3er orden). La configuración con **AU-4** es utilizada por la ETSI, para el transporte de un **VC-4**. La opción con tres **AU-3** es utilizada por la ANSI, para el transporte de un **VC-3**.

Una **unidad tributaria** es un espacio de carga, con puntero, cuya posición se conoce una vez lograda la alineación a la señal de línea. Por lo tanto, para llegar a reconocer qué bytes componen una(s) **unidad(es) tributaria(s)**, es necesario primeramente alinearse con el **contenedor virtual de orden alto** que la(s) contiene.

Una vez alineado con el contenedor virtual, el multiplexor ya sabe donde se encuentran las unidades tributarias en que el VC se subdivide.

Una facilidad adicional ofrecida por SDH es la de concatenar las áreas de carga de varias AUs o TUs de determinada trama para permitir transportar contenedores virtuales que de otro modo no encajarían en las AUs o TUs reconocidas por determinada jerarquía.

Por ejemplo, para poder transportar un VC-4 por la red norteamericana, que sólo trabaja con 3 AU-3s en cada trama STM-1, es preciso concatenar esas 3 AU-3s, formando un área común y suficientemente grande para que quepa el VC-4. Está claro que, en este caso, la adaptación SDH en los multiplexores de acceso requiere de tarjetas que entiendan la trama VC-4, pero la concatenación permite el paso sin problemas por los equipos que realizan conmutación y paso dentro de la red.

2.3.5. Estructura de Multiplexación Síncrona.

En la *figura 2.3.5.1* se puede observar la representación de la estructura de multiplexación de la Jerarquía Digital Síncrona de acuerdo con las Recomendaciones G.707 de la ITU-T, GR.253 de Bellcore y T1.105 de ANSI, de forma que se obtienen señales de línea síncronas STM-N (parte superior izquierda de la figura) a partir de señales tributarias plesiócronas de ambas jerarquías, americana y europea, y flujos ATM (a la derecha de la figura).

Asimismo, se pueden observar los pasos intermedios que tienen lugar y las tramas y subtramas implicadas en los correspondientes procesos: contenedores virtuales de orden bajo, unidades tributarias, contenedores virtuales de orden alto y unidades administrativas.

A los contenedores en los que se encuentra embebida la carga se les añaden las correspondientes cabeceras **POH (Path OverHead)**, dando lugar a los **contenedores virtuales**.

Las unidades administrativas y tributarias se caracterizan por poseer punteros que indican el comienzo de la carga que transportan, es decir, de los contenedores virtuales de orden alto y de orden bajo, respectivamente.

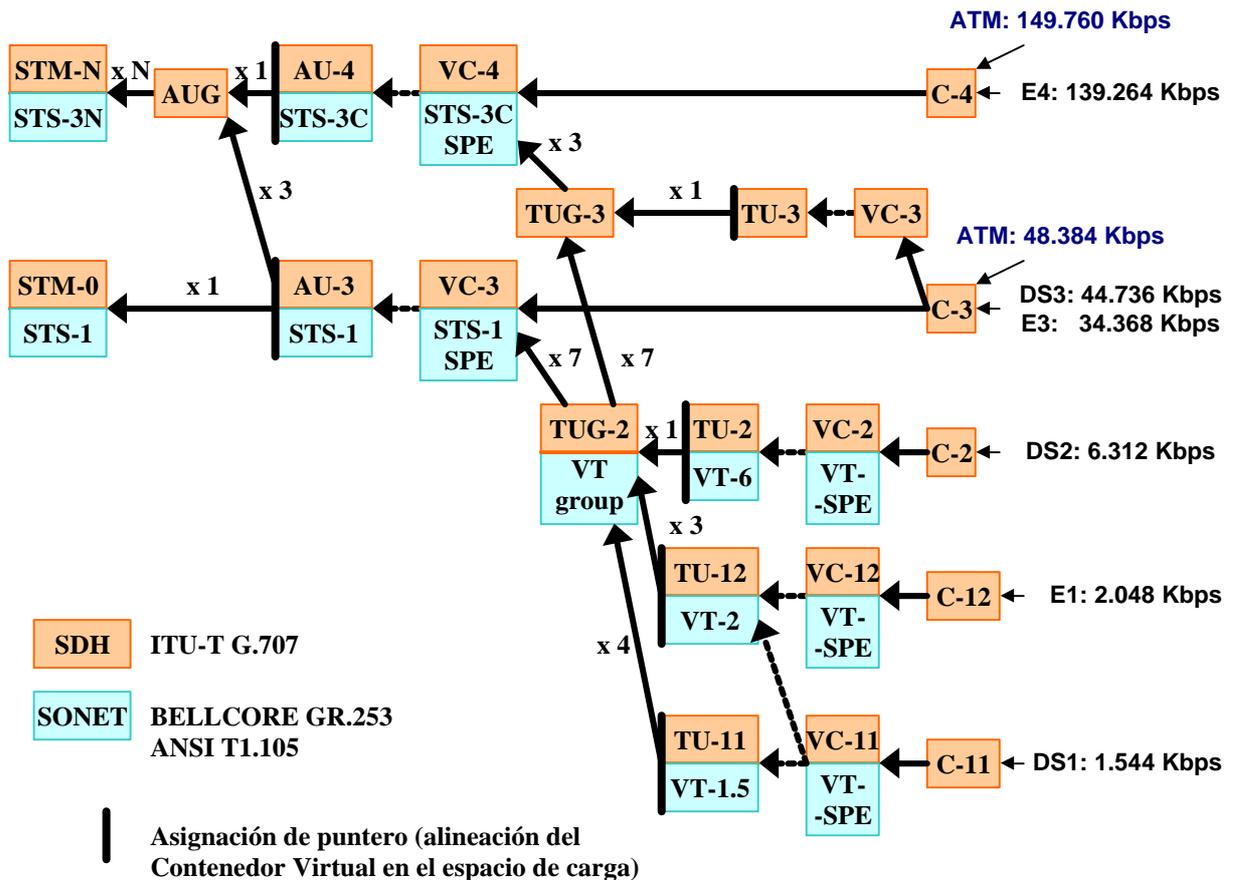


Figura 2.3.5.1

2.3.5.1. ETSI.

En la metodología adoptada en los países europeos (*figura 2.3.5.1.1*), por ejemplo, tomando todos los bytes del área de carga de la trama STM-1, existe una **unidad administrativa de cuarto orden (AU-4)** y su respectivo puntero. La **AU-4** es suficientemente grande como para transportar una trama de cuarto orden, o **contenedor virtual de cuarto orden (VC-4)**.

El contenedor virtual de 4º orden contiene una cabecera denominada **cabecera de trayecto de orden alto (HP-POH, Higher Order Path OverHead)** con canales de servicio y supervisión extremo a extremo.

Los demás bytes de esa trama de cuarto orden (VC-4), a su vez, pueden constituir un gran espacio de carga definido como **C-4 (contenedor de 4º orden)**, en el cual puede transportarse, por ejemplo, una señal PDH de 140 Mbps; o tres **TUG-3 (grupo de unidades tributarias de 3º orden)**, dividiendo el C-4 en tres espacios iguales de carga, intercalados byte a byte.

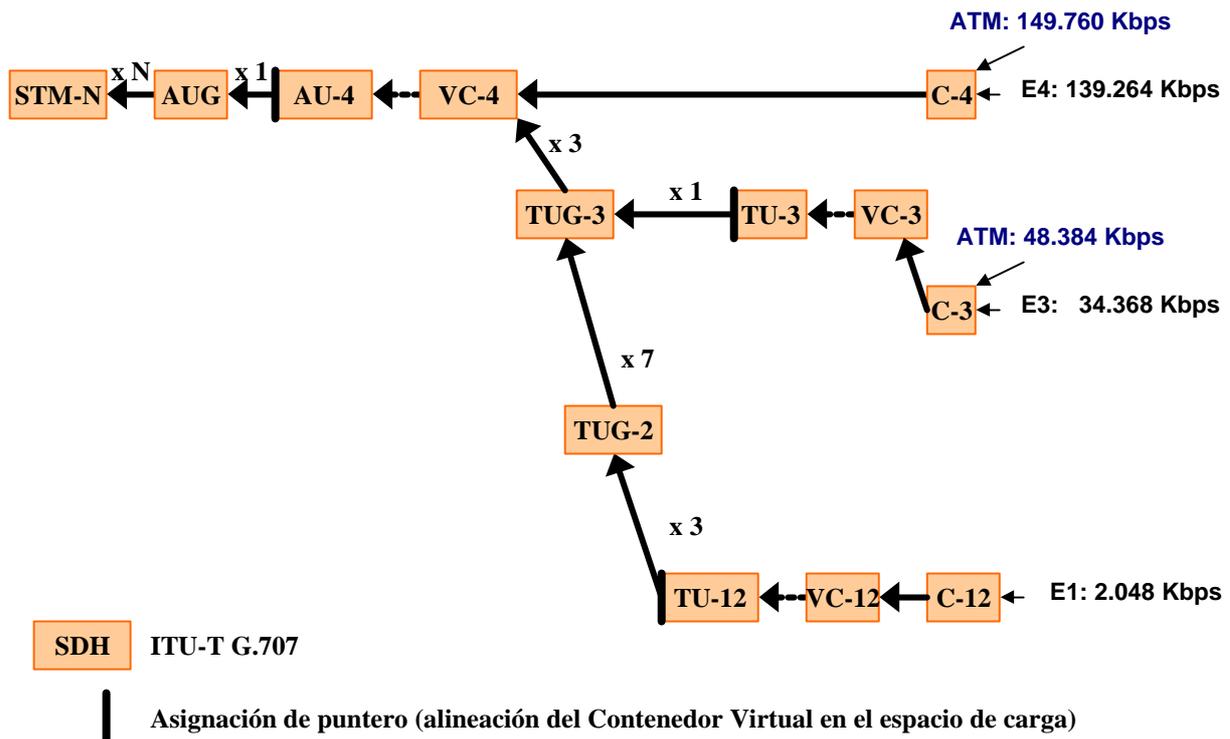


Figura 2.3.5.1.1

Cada **TUG-3** puede ser designado como una unidad tributaria de 3^{er} orden (**TU-3**). Una TU-3 tiene todos sus bytes considerados como un espacio de carga sólido, capaz de contener una trama tributaria (contenedor virtual) de 3^{er} orden (**VC-3**), a su vez capaz de transportar una señal PDH de 34 o 45 Mbps. La TU-3 posee un puntero asociado a ella, indicando en qué bytes de ese espacio de carga se encuentra el inicio del VC-3. Por otro lado, una TUG-3, que se sigue subdividiendo en unidades tributarias menores, no posee un puntero asociado, sino una indicación de ausencia del mismo. La TUG-3 se puede seguir subdividiendo, en 7 TUG-2, que, a su vez, se subdividen en 3 TU-12 cada una. En este caso, en nuestros países, la TUG-3 se subdivide en 21 unidades tributarias de 1^{er} orden/2^a velocidad, intercaladas byte a byte. Cada una de esas 21 unidades tributarias posee un puntero individual, el cual indica en qué posición de su respectivo espacio de carga comienza la trama tributaria (contenedor virtual) de 1^{er} orden/2^a velocidad (**VC-12**).

El VC-12 es, por lo tanto, una trama con capacidad para recibir una señal PDH de 2048 Kbps (C-12), a la cual se le agrega una pequeña cabecera de trayecto (para alarmas, control de errores extremo a extremo, bits de servicio, etc.).

Según el caso, el VC-12 puede recibir una señal cualquiera de 2048 Kbps o hasta canales individuales de $n \times 64$ Kbps.

En resumen, en los países de jerarquía compatible con el ETSI, la trama STM-1 siempre contendrá un VC-4, el cual se subdivide o no, de acuerdo a la arquitectura de la red y a la velocidad útil de los trayectos que se desean manejar.

2.3.6. Cabeceras. Definición de Trayectos y Secciones.

Los **contenedores virtuales** constan de una cabecera denominada **cabecera de trayecto (POH, Path OverHead)** y un área de carga, denominada **contenedor**.

La señal síncrona de línea STM-N presenta dos tipos de cabeceras: de **sección de regeneradores** y de **sección de multiplexación**.

En este apartado, vamos a definir todas estas cabeceras, además de los conceptos de **trayecto** y **sección**.

2.3.6.1. Definición de cabeceras.

Cabecera de Sección (SOH, Section OverHead): La información de SOH se añade al espacio de carga para crear una señal STM-N. Incluye información sobre el entramado de bloque e información para tareas de mantenimiento, monitorización de calidad y otras funciones adicionales.

De acuerdo con la *figura 2.3.6.1.1*, se identifican dos tipos de cabeceras de sección en la señal de línea STM-N:

- **Cabecera de Sección de Regeneradores (RSOH, Regenerator Section OverHead)**, la cual proporciona información en los regeneradores.
- **Cabecera de Sección de Multiplexación (MSOH, Multiplex Section OverHead)**, la cual pasa de forma transparente por los regeneradores y proporciona información en los multiplexores.

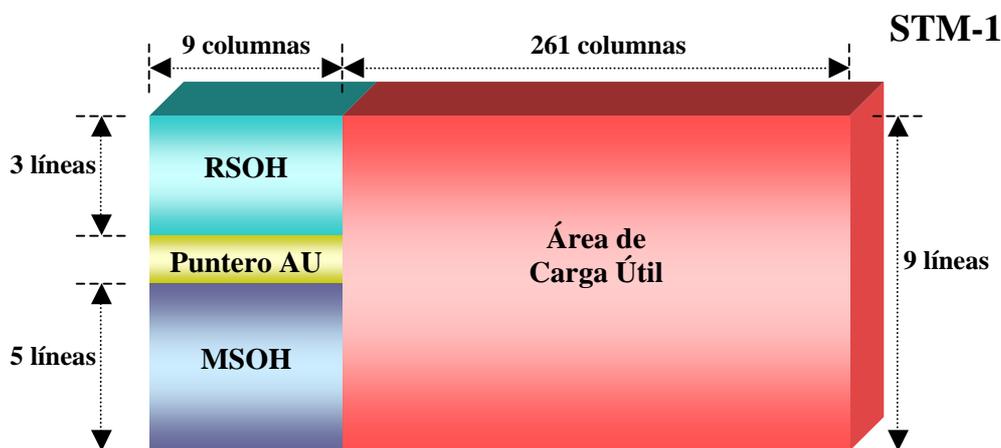


Figura 2.3.6.1.1

Los canales de servicio, a pesar de que su posición está prevista en la cabecera de cada uno de los procesos STM-1, no se repiten N veces en una señal STM-N. Sólo se aprovecha el canal de la primera de las N tramas multiplexadas, quedando libres las posiciones de las otras tramas multiplexadas. Esa es la razón por la cual

hay tantas lagunas en la cabecera del STM-1: son bytes de servicio de la trama básica SONET STS-1 que, al multiplexarse 3 tramas, quedan libres.

Por otro lado, existe otro tipo de cabecera denominada **VC-POH (Virtual Container Path OverHead, Cabecera de Trayecto de Contenedor Virtual)**, la cual proporciona integridad de comunicación entre los puntos de ensamblado y desensamblado de Contenedores Virtuales.

Las cabeceras de trayecto se clasifican en:

- **HOVC-POH (Higher Order Virtual Container Path OverHead, Cabecera de Trayecto de Contenedor de Orden Alto)** para VC-4, y VC-3.
- **LOVC-POH (Lower Order Virtual Container Path OverHead, Cabecera de Trayecto de Contenedor Virtual de Orden Bajo)** para VC-3, VC-2, VC-1, VC-12 y VC-11.

2.3.6.2. Definición de trayecto y sección.

Se define **trayecto** como el **tramo comprendido entre puntos de ensamblado y desensamblado de contenedores virtuales** (es decir, aquellos puntos en los que se inserta o se extrae carga en el transporte), constituido, generalmente, por varias secciones.

Existen, fundamentalmente, dos tipos de trayectos:

- **Trayecto de Orden Alto (HO-P, Higher Order Path):** Es aquel en el que varias cargas viajan juntas, separándose en algún punto (terminación del trayecto de orden alto) y uniéndose con otras en su viaje por la red.
- **Trayecto de Orden Bajo (LO-P, Lower Order Path):** Son directamente los asociados con cargas individuales que circulan por la red, desde que éstas entran hasta que salen de la misma.

Una **sección** es un tramo dentro de un trayecto en el que se mantiene la integridad de la carga de la señal síncrona de línea.

Existen dos tipos de secciones:

- **Sección de Regeneradores:** Está constituida por enlaces comprendidos entre elementos que no extraen o insertan carga, es decir, aquellos cuya función consiste en reponer la señal para que en el otro extremo del trayecto llegue en perfectas condiciones. Éste es el caso, por ejemplo, de los Regeneradores Óptico/Eléctricos, Amplificadores Ópticos (fibra dopada con Erblio), etc.
- **Sección de Multiplexación:** Está compuesta por elementos que pueden insertar o extraer carga de la señal de transporte, así como asociar varias señales de transporte en otra jerarquía mayor (es decir, de velocidad mayor), para así aprovechar mejor el medio de transmisión. Ejemplos de estos

elementos son: Multiplexores STM-1 a STM-16, ADM (Multiplexores de Extracción/Inserción), etc.

Entre dos nodos multiplexores siempre existe una sección de regeneración, aunque no existan regeneradores intermedios entre ellos, ya que un nodo multiplexor siempre regenera la señal de línea entrante, independientemente de los procesos que tengan lugar en dicho elemento de red.

En la *figura 2.3.6.2.1*, se han representado dos ADMs (Add & Drop Mux) síncronos unidos mediante un enlace en el que se pueden distinguir 3 regeneradores. Por lo tanto, existen cuatro secciones de regeneración en las cuales se crean tres nuevas cabeceras de sección de regeneradores. El resto de la trama de línea STM-N permanece inalterada.

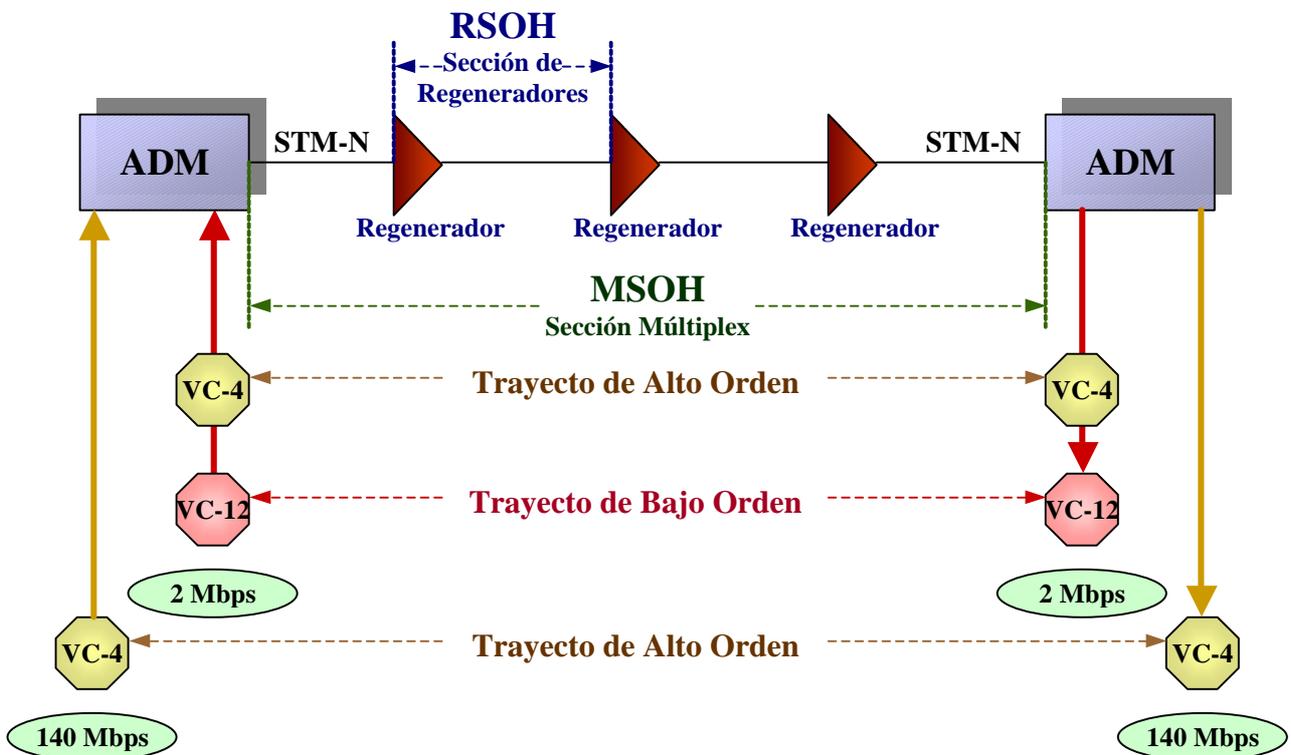


Figura 2.3.6.2.1

Al mismo tiempo, la sección de Multiplexación está comprendida entre los dos elementos de red. Si, por ejemplo, el ADM de la derecha diera continuidad a la señal STM-N procedente del ADM de la izquierda, éste último ADM debería generar una nueva cabecera de la señal de línea (RSOH y MSOH).

Supongamos que en el ADM de la izquierda se inserta un tributario de 140 Mbps y se extrae en el ADM de la derecha. Entonces, el trayecto de orden alto está comprendido entre los puntos en que se ensambla (mapping) y desensambla (demapping) el contenedor virtual de orden alto (VC-4) que contiene el tributario de 140 Mbps.

Se puede razonar de forma análoga en el caso de un tributario de 2 Mbps, el cual se inserta en el ADM de la izquierda mediante un contenedor de orden bajo (VC-12) y se extrae en el ADM de la derecha. Entonces, el trayecto de orden bajo está comprendido entre los puntos en que se ensambla (mapping) y desensambla (demapping) el VC-12 que contiene el tributario de 2 Mbps.

2.4. INTRODUCCIÓN A VISUAL BASIC

Visual Basic es un lenguaje de programación visual, también llamado lenguaje de 4ª generación. Esto quiere decir que un gran número de tareas se realizan sin escribir código, simplemente con operaciones gráficas realizadas con el ratón sobre la pantalla.

Visual Basic es también un lenguaje de programación basado en objetos, aunque no orientado a objetos como C++ o Java. La diferencia está en que, aunque Visual Basic utiliza objetos con propiedades y métodos, carece de los mecanismos de herencia y polimorfismo propios de los verdaderos lenguajes orientados a objetos como Java y C++.

Visual Basic está orientado a la realización de programas para Windows, pudiendo incorporar todos los elementos de este entorno informático: ventanas, botones, cajas de diálogo y de texto, botones de opción y de selección, barras de desplazamiento, gráficos, menús, etc.

Prácticamente todos los elementos de interacción con el usuario de los que dispone Windows 95/98/NT pueden ser programados en Visual Basic de un modo muy sencillo. En ocasiones bastan unas pocas operaciones con el ratón y la introducción a través del teclado de algunas sentencias para disponer de aplicaciones con todas las características de Windows 95/98/NT.

Los programas típicos de Windows, tales como Netscape, Word, Excel y PowerPoint, son programas orientados a eventos. Cuando uno de estos programas ha arrancado, lo único que hace es quedarse a la espera de las acciones del usuario, que en este caso son llamadas eventos. El usuario dice si quiere abrir y modificar un fichero existente, o bien comenzar a crear un fichero desde el principio. Estos programas pasan la mayor parte de su tiempo esperando las acciones del usuario (eventos) y respondiendo a ellas. Las acciones que el usuario puede realizar en un momento determinado son variadísimas, y exigen un tipo especial de programación: la programación orientada a eventos. Este tipo de programación es la que Visual Basic hace especialmente sencilla y agradable.

2.4.1. Formularios y Controles

Cada uno de los elementos gráficos que pueden formar parte de una aplicación típica de Windows 95/98/NT es un tipo de control: los botones, las cajas de diálogo y de texto, las cajas de selección desplegables, los botones de opción y de selección, las barras de desplazamiento horizontales y verticales, los gráficos, los menús, y muchos otros tipos de elementos son controles para Visual Basic. Cada control debe tener un nombre a través del cual se puede hacer referencia a él en el programa. Visual Basic proporciona nombres por defecto que el usuario puede modificar.

En la terminología de Visual Basic se llama formulario (form) a una ventana. Un formulario puede ser considerado como una especie de contenedor para los controles. Una aplicación puede tener varios formularios.

2.4.2. Objetos y Propiedades

Los formularios y los distintos tipos de controles son entidades genéricas de las que puede haber varios ejemplares concretos en cada programa. En programación orientada a objetos (más bien basada en objetos, habría que decir) se llama clase a estas entidades genéricas, mientras que se llama objeto a cada ejemplar de una clase determinada. Por ejemplo, en un programa puede haber varios botones, cada uno de los cuales es un objeto del tipo de control command button, que sería la clase.

Cada formulario y cada tipo de control tienen un conjunto de propiedades que definen su aspecto gráfico (tamaño, color, posición en la ventana, tipo y tamaño de letra, etc.) y su forma de responder a las acciones del usuario (si está activo o no, por ejemplo). Cada propiedad tiene un nombre que viene ya definido por el lenguaje.

Por lo general, las propiedades de un objeto son datos que tienen valores lógicos (True, False) o numéricos concretos, propios de ese objeto y distintos de las de otros objetos de su clase. Así pues, cada clase, tipo de objeto o control tiene su conjunto de propiedades, y cada objeto o control concreto tiene unos valores determinados para las propiedades de su clase.

2.4.3. Eventos

Las acciones del usuario sobre el programa se llaman eventos. Son eventos típicos el clicar sobre un botón, el hacer doble clic sobre el nombre de un fichero para abrirlo, el arrastrar un icono, el pulsar una tecla o combinación de teclas, el elegir una opción de un menú, el escribir en una caja de texto, o simplemente mover el ratón.

Cada vez que se produce un evento sobre un determinado tipo de control, Visual Basic arranca una determinada función o procedimiento que realiza la acción programada por el usuario para ese evento concreto. Estos procedimientos se llaman con un nombre que se forma a partir del nombre del objeto y el nombre del evento, separados por el carácter (_), como por ejemplo txtBox_click, que es el nombre del procedimiento que se ocupará de responder al evento click en el objeto txtBox.

2.4.4. Métodos

Los métodos son funciones que también son llamadas desde programa, pero a diferencia de los procedimientos no son programadas por el usuario, sino que vienen ya pre-programadas con el lenguaje. Los métodos realizan tareas típicas, previsibles y comunes para todas las aplicaciones. De ahí que vengan con el lenguaje y que se libere al usuario de la tarea de programarlos. Cada tipo de objeto o de control tiene sus propios métodos.

Por ejemplo, los controles gráficos tienen un método llamado Line que se encarga de dibujar líneas rectas. De la misma forma existe un método llamado Circle que dibuja circunferencias y arcos de circunferencia. Es obvio que el dibujar líneas rectas o circunferencias es una tarea común para todos los programadores y que Visual Basic da ya resuelta.