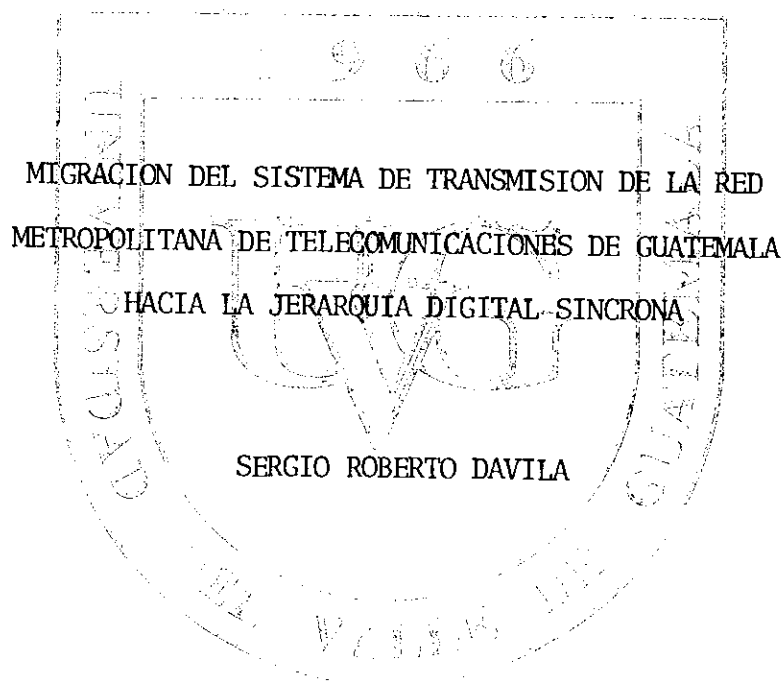


UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

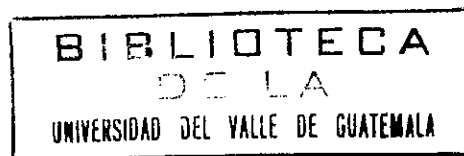


Guatemala

1994

MIGRACION DEL SISTEMA DE TRANSMISION DE LA RED  
METROPOLITANA DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA  
HACIA LA JERARQUIA DIGITAL SINCRONA

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ciencias y Humanidades



MIGRACION DEL SISTEMA DE TRANSMISION DE LA RED  
METROPOLITANA DE TELECOMUNICACIONES DE GUATEMALA  
HACIA LA JERARQUIA DIGITAL SINCRONA

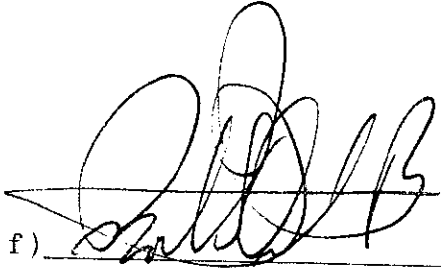
SERGIO ROBERTO DAVILA

Trabajo de investigación presentado para optar  
al grado academico de  
Licenciado en Ingeniería Electrónica

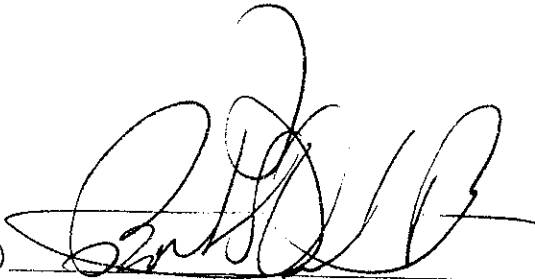
Guatemala

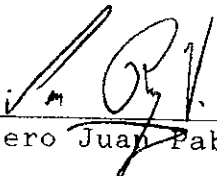
1994

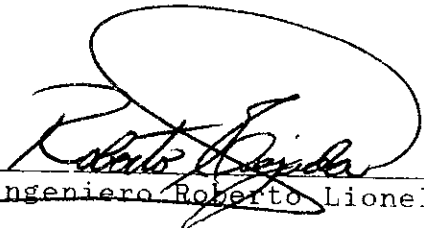
Vo. Bo. :

(f)   
Ingeniero Robert Stephen Duke

Tribunal:

(f)   
Ingeniero Robert Stephen Duke

(f)   
Ingeniero Juan Pablo Rodríguez

(f)   
Ingeniero Roberto Lionel Tejada

Fecha de aprobación: 21 de octubre de 1994.

## RESUMEN

En los últimos años las telecomunicaciones han experimentado un gran avance tecnológico a raíz de la aparición de los sistemas digitales en la década pasada. En sus inicios dichos sistemas operaban en forma asíncrona, pero en la actualidad la tendencia es emplear redes síncronas. El presente trabajo de graduación se realizó con el objeto de discutir una base para la implementación de un sistema de transmisión basado en la Jerarquía Digital Síncrona en el área de la ciudad de Guatemala.

Al inicio, se incluyen algunos aspectos relacionados a la antigua Jerarquía Digital Plesiócrona para entender mejor la evolución de los sistemas de transmisión digitales. Luego se desarrolla en forma general la teoría de funcionamiento de la SDH, y al final se trata la política de migración de la red metropolitana hacia el sistema síncrono.

## CONTENIDO

	páginas
RESUMEN	vii
I. INTRODUCCION	1
II. JERARQUIA DIGITAL PLESIOCRONA	7
A. DESCRIPCION	7
B. PRINCIPIOS DE OPERACION	8
C. CARACTERISTICAS FUNCIONALES	9
III. JERARQUIA DIGITAL SINCRONA	13
A. DESCRIPCION	13
B. PRINCIPIOS DE OPERACION	15
C. CARACTERISTICAS FUNCIONALES	20
IV. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TRANSMISION SINCRONO	27
A. COMPONENTES DE UN SISTEMA SINCRONO	27
1. Multiplexores síncronos	27
2. Equipos de cross-conexión	32
3. Radios de microonda digital	36
B. CONFIGURACIONES DE SISTEMAS SINCRONOS	37
1. Configuración punto a punto	38
2. Configuración inserción-extracción en bus	39
3. Configuración de centro	39
4. Configuración anillo	40
5. Configuración malla	45

	páginas
C. SINCRONIZACION	45
V.    EVOLUCION HACIA LA RED SDH	49
A. ESTRATEGIAS DE LA EVOLUCION	49
1. Estrategia arriba-abajo	50
2. Estrategia abajo-arriba	51
3. Estrategia sobrepuesta	52
B. ESTADO ACTUAL DE LA RED METROPOLITANA	52
C. EVOLUCION DE LA RED METROPOLITANA HACIA LA SDH	58
VI.    CONCLUSIONES	73
VII.   BIBLIOGRAFIA	75
APENDICES	
A. Trama de 8,448 Kbps con justificación positiva	77
B. Estructura de multiplexación síncrona	79
1. Trama STM-1	80
a. Area de carga útil	80
i. Tara de trayecto de VC-1/VC-2	81
ii. Tara de trayecto de VC-3/VC-4	82
b. Area de punteros	84
c. Area de la tara de sección	87
2. Multiplexación	88
a. Mapeo de señales de 2 Mbps en un VC-12	89
b. Mapeo de VC-12 en TUG-2	92

	páginas
c. Mapeo de TUG-2 en TUG-3	94
d. Mapeo de TUG-3 en VC-4	95
e. Mapeo de VC-4 en STM-1	95
f. Velocidades de transmisión más altas	95
C. Listado de abreviaturas	97



## I. INTRODUCCION

La red mundial de telecomunicaciones, tal como se conoce hoy en día, tuvo su origen en el transporte de conversaciones entre aparatos telefónicos. Hasta aproximadamente 1970 esto se realizaba en forma analógica en pares trenzados de cobre en las rutas de baja capacidad y utilizando Multiplexación por División en Frecuencia (FDM) sobre cable coaxial y radio (VHF, UHF y micro onda) en las rutas de alta capacidad.

A principio de los años setenta hizo su aparición la transmisión digital, que utilizó la Modulación por Impulsos Codificados (PCM). Este método había sido propuesto desde 1937, sin embargo la falta de tecnología adecuada no permitió su implementación sino hasta treinta años más tarde.

La modulación PCM permite que señales analógicas, como la voz humana, sean representadas en forma binaria. En la figura 1.1 se muestran los principios básicos de dicha modulación. Con este método, la señal de voz, de aproximadamente 4 KHz de ancho de banda se puede representar mediante un tren de bits con velocidad de 64 Kbps.

La gran ventaja introducida por esta técnica fue la posibilidad de combinar varios canales digitales en uno que se transmite a mayor velocidad empleando intercalación de

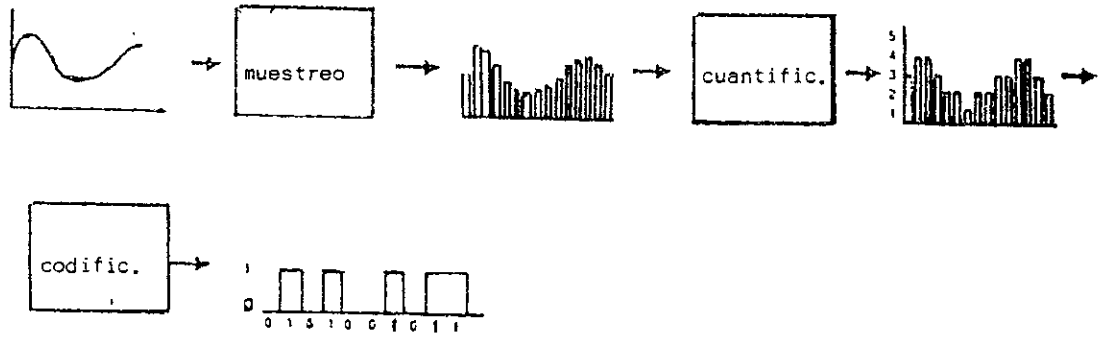


FIGURA 1.1

bits sobre un solo par de hilos de cobre. Esto es lo que se conoce como Multiplexación por División en el Tiempo (TDM). El proceso se ilustra en la figura 1.2.

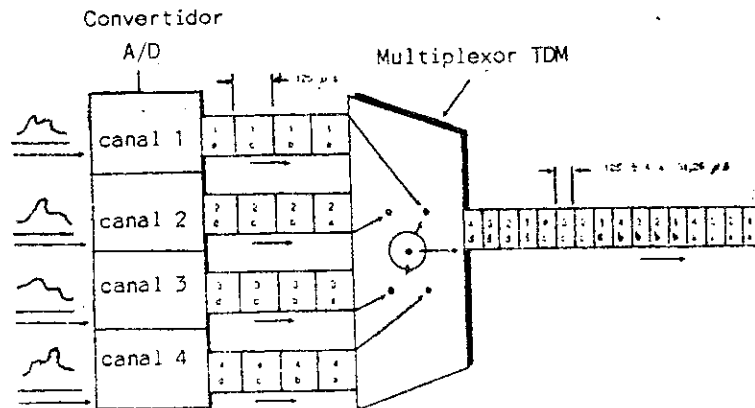


FIGURA 1.2

Con el tiempo dos jerarquías primarias fueron desarrolladas para la TDM, una en Europa basada en la combinación de 32 canales de 64 Kbps en uno de 2.048 Mbps (Comité E1), mientras que la otra, desarrollada en Norteamérica, fue basada en la combinación de 24 canales de 64 Kbps en uno de 1.544 Mbps (Comité T1).

Al crecer mucho las cargas de tráfico, se formaron niveles de multiplexación más altos con el fin de no utilizar un número excesivo de enlaces a la velocidad primaria. En la figura 1.3 se muestra cómo se desarrollaron ambas jerarquías.

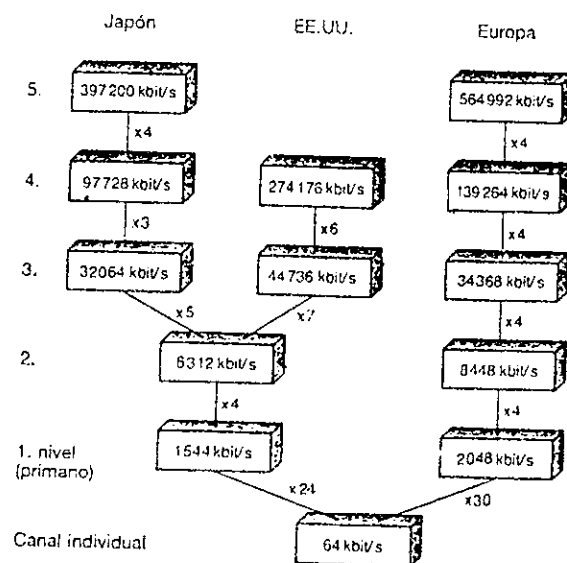


FIGURA 1.3

Los medios de transmisión sufrieron, asimismo, cambios dramáticos. En la actualidad se utilizan casi en forma exclusiva la fibra óptica y la microonda digital. Esta

última cuenta con limitaciones en el ancho de banda disponible, cosa que no sucede con la fibra óptica debido a que ésta puede llegar a tener más de 30 THz de ancho de banda.

Como parte de la evolución en las telecomunicaciones en los últimos años ha habido un consenso significativo entre los organismos internacionales de estandarización. Dicho consenso ha tenido como puntos culminantes la técnica de multiplexación y conmutación llamada Modo de Transferencia Asíncrono (ATM) y la técnica de multiplexación y transmisión llamada Jerarquía Digital Síncrona (SDH).

El desarrollo de la SDH fue iniciado 1984 en E.U.A. por el Foro de Compatibilidad de la Industria de Transporte (ICCF) con la meta inicial de proveer la capacidad de interconexión de equipos de diferentes proveedores en los enlaces ópticos punto a punto. Esta modesta meta inicial fue rápidamente expandida al desarrollo de estándares nacionales e internacionales para toda la red de transporte.

La primera fase del estándar fue completada en 1988 por el comité T1 del Instituto Nacional Americano de Estandarización (ANSI), bajo el nombre de Red Óptica Síncrona (SONET). Luego, la interacción entre el T1 y el Comité Consultivo Internacional de Telefonía y Telegrafía (CCITT) resultó en la aceptación del nuevo estándar llamándolo Jerarquía Digital Síncrona y la publicación del

primer juego de recomendaciones en 1988.

La segunda fase del desarrollo del nuevo estándar cubre los aspectos de Operación y Gestión de la Red de Telecomunicaciones. Dichos aspectos no se han terminado de discutir, pero se espera que en breve se pueda contar con un juego de recomendaciones adecuado.

Como consecuencia, los grandes fabricantes esperan que para 1995, aproximadamente, la mitad de los sistemas de transmisión sean síncronos, y que para principios del siglo XXI, la gran mayoría de las redes de telecomunicaciones hayan completado su migración hacia la SDH.



## II. JERARQUIA DIGITAL PLESIOCRONA

### A. DESCRIPCION

Tal como se describió anteriormente, cuando el número de circuitos requeridos a 2 Mbps creció significativamente, se crearon niveles de multiplexación superiores para no tener un número excesivo de enlaces a la velocidad primaria (ver figura 1.3). Sin embargo, el intercalado de bits para formar el nivel superior no es tan sencillo en la práctica como parece. Esto se debe, principalmente, a que las señales tributarias provienen de fuentes diferentes, teniendo pequeñas diferencias de fase y velocidad. Por lo tanto, antes de intercalar los tributarios, éstos deben ser llevados a la misma velocidad agregando bits sin información, que se conocen como bits de justificación.

El proceso de multiplexación agregando bits de justificación o relleno se conoce como multiplexación plesiócrona, y de allí el nombre de Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH). El proceso se ilustra en la figura 2.1.

### B. PRINCIPIOS DE OPERACION

Los bits de justificación son bits que no contienen información y se utilizan únicamente para ajustar varias

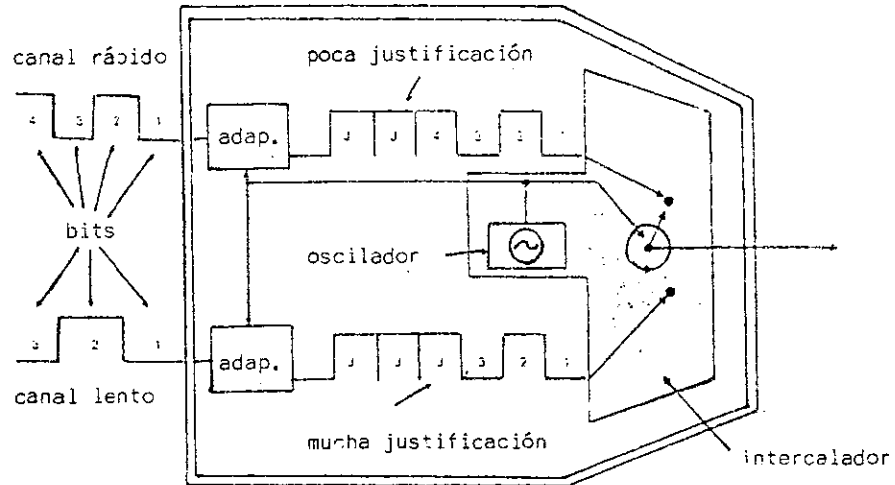


FIGURA 2.1

señales a la misma velocidad. Dichos bits son reconocidos cuando ocurre la demultiplexación, siendo descartados para recuperar la señal original.

Existen dos tipos de justificación: justificación positiva y justificación negativa. En la justificación positiva, los bits de justificación normalmente sirven sólo de relleno, pero cuando es necesario, éstos contienen datos. En la justificación negativa ocurre lo contrario, es decir, los bits de justificación normalmente contienen datos, pero de ser necesario éstos pueden ser relleno.

Como ejemplo de multiplexación plesiócrona se incluye en el Apéndice A la estructura de la trama de 8 Mbps.

El manejo de los bits de justificación permite manejar a las señales tributarias con cierto margen de tolerancia en la velocidad, lo que da como resultado la utilización de memorias elásticas o buffers.

Cuando la velocidad del tributario es muy grande, la memoria elástica del multiplexor se llena rápido y ocurre un deslizamiento en la trama (slip), o sea se pierde un byte de información. En el caso contrario, cuando la velocidad del tributario es más lenta que lo permitido, el último byte en la memoria elástica se duplica.

Se comprende fácilmente, entonces, por qué los osciladores que controlan las operaciones del multiplexor deben tener tolerancias muy bajas, haciéndose menor conforme se avanza hacia los niveles superiores de la jerarquía.

### C. CARACTERISTICAS FUNCIONALES

Las reducciones en los costos de fabricación de circuitos digitales, su alto grado de integración y los avances en la transmisión por fibra óptica permitió a la PDH, con el correr del tiempo, ofrecer un medio de transporte para grandes cantidades de circuitos de forma muy eficiente y barata. Esta disponibilidad de ancho de banda de transmisión barato llevó a la proliferación de nuevos servicios telefónicos no vocales, dirigidos principalmente

al sector de negocios. Como consecuencia, los equipos de transmisión plesiócronicos, concebidos para el manejo de circuitos vocales, empezaron a mostrar algunas limitaciones.

El principal problema en la PDH es su inflexibilidad para las operaciones de inserción y extracción de canales (drop and insert), debido a que el uso de bits de justificación hace imposible la localización exacta de la información útil transportada en una línea de alta velocidad.

En el caso de una línea de 140 Mbps, para tener acceso a una señal de 2 Mbps, es necesario utilizar tres multiplexores: uno para alcanzar el nivel de 34 Mbps, luego otro para el de 8 Mbps, y el último para la señal de 2 Mbps deseada. Adicionalmente, se emplean otros tres multiplexores para regresar a la velocidad original de 140 Mbps, tal como se ilustra en la figura 2.2. Este ejemplo pone en evidencia la poca flexibilidad de las líneas PDH, ya que la provisión de servicios no es rápida y las grandes cantidades de multiplexores resultan costosas.

Otro problema asociado es el relacionado al control de la red. Ya que el uso de multiplexores es extensivo, también lo es el uso de conexiones manuales, y conforme éstas aumentan, se hace muy difícil llevar un control adecuado; además la posibilidad de cometer errores al poner en ruta las señales se incrementa. Dicho tipo de

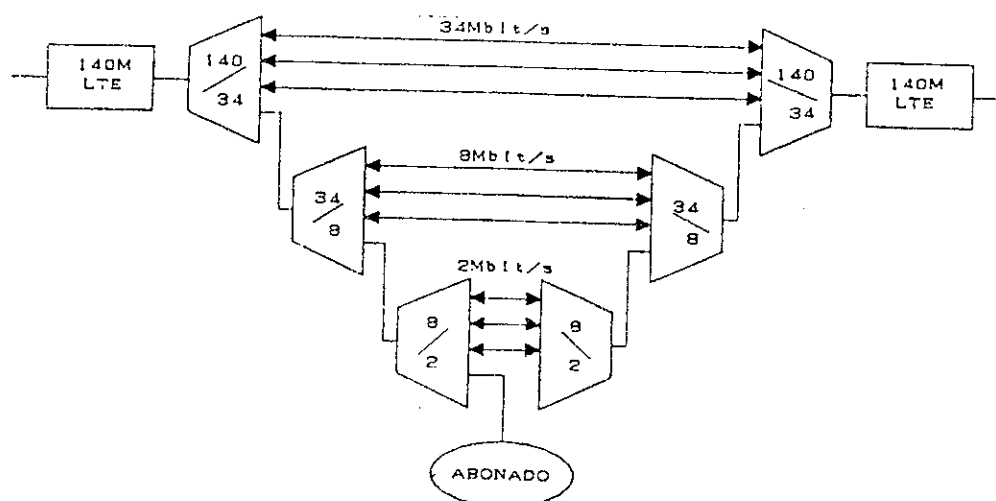


FIGURA 2.2

errores, probablemente, afectan no sólo a la conexión en proceso, sino también a otras ya establecidas.

Una posible solución a dicho uso extensivo de las conexiones manuales se obtiene con los equipos de cross-conexión. Con estos equipos se permite controlar en forma automática (mediante un sistema de gestión) los enrutamientos de las señales en un nodo determinado. Sin embargo, esto significa aumentar aún más la cantidad de equipos y sus costos son muy elevados. En el capítulo IV se discute más ampliamente lo referente a la cross-conexión.

Una limitación más de la PDH es el poco espacio dentro de las tramas para el monitoreo del desempeño de la red, por lo que las redes de supervisión y control tienen que ser transportadas en canales adicionales fuera de la trama.

Esta es una de las principales razones por las cuales las interfaces de línea son propietarias y una dificultad importante a vencer en un ambiente multivendedor.

Sin embargo, a pesar de las limitaciones que caracterizan a los sistemas plesiócronicos, hay que reconocer que cuentan con la gran ventaja de haber sido ampliamente desarrollados y explotados por mucho tiempo. Esto es, la PDH es una jerarquía ya bastante madura y estable en cuanto a su desarrollo. Por otro lado, la gran mayoría de limitaciones han nacido al plantear la estructura de la red de telecomunicaciones del futuro, por lo que la necesidad actual de evolucionar hacia un sistema de transporte más moderno es algo cuestionable.

### III. JERARQUIA DIGITAL SINCRONA

#### A. DESCRIPCION

La Jerarquía Digital Síncrona, SDH, fue desarrollada para superar los problemas asociados a la transmisión plesiócrona. En particular, lo referente a la estandarización de ambientes multivendedores y la inflexibilidad de la PDH en los puntos de inserción/extracción.

La SDH no surge como una revolución tecnológica, como lo fue en su momento el cambio de los sistemas de transmisión analógicos a los sistemas digitales, sino que como el siguiente paso en la evolución de la jerarquía de transmisión digital.

En su desarrollo se han visto envueltas muchas organizaciones de estandarización, fabricantes y usuarios. La oportunidad de definir estos estándares se ha aprovechado para encarar otros problemas, entre los cuales sobresalen el transporte de la red de gestión dentro de la misma jerarquía, la definición de interfaces estándares entre los equipos y la necesidad de facilitar la operación entre sistemas de las jerarquías de transmisión europea y americana.

Como ya se mencionó con anterioridad, estos esfuerzos

culminaron con la publicación del estándar SONET en Norteamérica por el ANSI, y con la publicación del estándar SDH contenido en las recomendaciones G.707, G.708 y G.709 del CCITT en el Libro Azul en 1989, que posteriormente fueron revisadas en 1992. Además, otras recomendaciones del CCITT han sido preparadas para cubrir diferentes aspectos de la SDH.

A continuación se da una breve descripción de las recomendaciones relacionadas de alguna forma a este tema:

- G.702: Jerarquía Digital de Velocidades Binarias (PDH).
- G.703: Características Físicas/Eléctricas de las Jerarquías Digitales.
- G.707: Velocidades Binarias de la Jerarquía Digital Síncrona.
- G.708: Interfaces de Nodo de Red para la Jerarquía Digital Síncrona.
- G.709: Estructura de Multiplexación Síncrona.
- G.773: Trajes de Protocolo para Interfaces Q para la Gestión de los Sistemas de Transmisión.
- G.774: Modelo de Gestión de Información.
- G.781: Estructura de las Recomendaciones para Equipos Multiplexores de la Jerarquía Digital Síncrona.
- G.782: Tipos y Características Generales de los Equipos Multiplexores para la Jerarquía Digital Síncrona.

- G.783: Características de los Bloques Funcionales de los Equipos Multiplexores para la Jerarquía Digital Síncrona.
- G.784: Gestión de los Equipos Síncronos.
- G.803: Arquitectura de Redes de Transporte Basadas en SDH.
- G.826: Parámetros y Objetivos de Calidad para Trayectos Digitales Internacionales de Velocidad Constante Igual o Superior a la Velocidad Primaria.
- G.831: Objetivos de Desempeño y Capacidades de Gestión de las Redes de Transmisión Basadas en SDH.
- G.955: Sistemas de Línea Digitales en Fibra Óptica, Basados en la jerarquía de 1544 Kbps.
- G.956: Sistemas de Línea Digitales en Fibra Óptica, Basados en la jerarquía de 2048 Kbps.
- G.957: Interfaces Ópticas para Equipos y Sistemas Relacionados con la Jerarquía Digital Síncrona.
- G.958: Sistemas de Línea Digitales en Fibra Óptica, Basados en la Jerarquía Digital Síncrona.
- M.3010: Red de Gestión de Telecomunicaciones (TMN).

## B. PRINCIPIOS DE OPERACION

En la recomendación G.707 se definen las velocidades binarias para SDH. El primer nivel corresponde a 155,520 Kbps y los niveles subsiguientes se obtienen como múltiplos

enteros de dicha velocidad.

Al primer nivel se le llama STM-1 (Módulo de Transporte Síncrono) y a los niveles superiores STM-N, donde N indica el nivel. En la tabla 3.1 se presentan las velocidades recomendadas.

Tabla 3.1

Nivel de la Jerarquía	Velocidad Binaria (Kbps)
STM-1	155,520
STM-4	622,080
STM-16	2,488,320

Además se recomienda que los sistemas de mediana y baja capacidad operen a la velocidad de 51,840 Kbps. Sin embargo, ésta no representa una velocidad para los Interfaces de Nodo de la Red (NNI).

En la figura 3.1 se muestra la estructura de multiplexación definida en la Recomendación G.708 y G.709. En ella se muestra la forma en la cual una señal STM-1 puede llevar varias señales de menor velocidad como carga, donde permite que las señales PDH sean transportadas en la Red Síncrona.

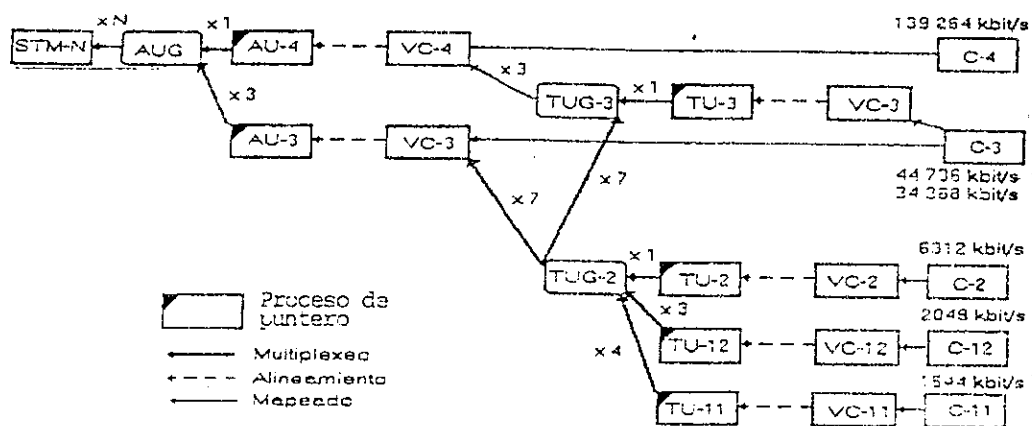


FIGURA 3.1

A pesar de las ventajas obvias sobre la PDH, es poco probable que la SDH hubiera sido aceptada tan rápidamente por las diferentes administraciones si su adopción hubiera hecho de inmediato obsoletos a los equipos PDH existentes. Esta es la razón por la cual las Recomendaciones del CCITT incluyen el empaquetamiento de todas las velocidades binarias existentes dentro de la trama STM-1.

Para tal fin, en la SDH se definen varios tipos de "Contenedores" (C-11, C-12, C-2, C-3 y C-4) correspondiendo cada uno a una velocidad plesiócrona existente, como se observa en la figura 3.1. La información contenida en la señal plesiócrona es mapeada en el contenedor respectivo de manera similar al proceso de rellenado con bits de justificación en la PDH. A cada contenedor se le agrega

entonces información de control conocida como tara de trayecto (POH). Los bytes del POH permiten al operador realizar monitoreo extremo-extremo de cosas, tales como tasas de error. Juntos, el contenedor y la tara de trayecto forman un Contenedor Virtual (VC).

Los VC's se pueden identificar en VC's de orden superior y VC's de orden inferior, dependiendo de si contienen VC's más pequeños o están contenidos en uno más grande. El VC-4, por ser el mayor VC definido, se considera siempre de orden superior, mientras que los VC-11, VC-12 y VC-2 se consideran siempre de orden inferior, ya que no contienen nunca otros VC's más pequeños. El VC-3 es de orden mayor en referencia a los VC-11, VC-12 y VC-2, pero si la referencia es un VC-4, entonces se toma como de orden inferior.

En una red síncrona, todos los equipos son sincronizados a un reloj maestro. Sin embargo, hay que notar que el retardo asociado al medio de transmisión puede variar ligeramente. Como resultado, la ubicación de los contenedores virtuales dentro de la trama STM-1 puede no ser fija. De hecho, las variaciones son llevadas a cabo asociando un puntero a cada VC, lo que le permite comenzar en una trama y terminar en otra. Gracias a estos punteros es posible identificar a los canales individualmente dentro de la trama síncrona, permitiendo acceso a ellos

directamente sin tener que demultiplexar la señal completa.

La Recomendación G.709 define diferentes combinaciones de VC's que pueden ser utilizadas para llenar la carga útil de la trama STM-1. El proceso de cargar los contenedores y agregar taras es repetido en varios niveles resultando en el "anidamiento" de VC's más pequeños dentro de otros más grandes, hasta que el VC más grande es llenado y luego colocado en la carga útil de un STM-1.

Cuando el área de carga útil se llena, se agregan otros bytes de control que forman la tara de sección (SOH). Esta recibe su nombre por el hecho de permanecer con la carga útil en la sección de transmisión entre dos multiplexores. Su propósito es proveer canales de comunicación para funciones como Administración, Operación y Mantenimiento (AOM), canales de usuario, conmutación de protección, calidad de la sección y alineamiento de trama.

Al requerirse velocidades mayores a los 155 Mbps del STM-1, se emplea un esquema relativamente sencillo de intercalado de bytes.

Información más detallada sobre la estructura de multiplexación síncrona se da en el Apéndice B.

### C. CARACTERISTICAS FUNCIONALES

La transmisión síncrona fue concebida para resolver

muchas de las limitaciones características de la transmisión plesiócrona, permitiendo que la red evolucione para satisfacer las nuevas demandas. Se espera, de manera optimista que la SDH ofrezca múltiples beneficios tanto para las compañías de telecomunicaciones como para los usuarios. Entre ellos destacan:

#### 1. Simplificación de la red:

Uno de los beneficios principales vistos por los operadores de redes es la simplificación mediante el uso de equipos síncronos. Un multiplexor síncrono puede realizar las funciones de una gran cantidad de multiplexores plesiócronicos (ver figura 3.2), lo cual conlleva a reducciones significativas en la cantidad de equipo utilizado. Además, se pueden lograr menores costos de operación debido a las reducciones en los inventarios de repuestos, el espacio ocupado por el equipo y el consumo de energía y una estructura de mantenimiento más sencilla.

La "inserción y extracción" de canales en forma más eficiente, ofrecido por la SDH, junto con sus poderosas capacidades de gestión de red, permitirán un aprovisionamiento más sencillo de circuitos para nuevos servicios, así como su acceso en cualquier lugar. Esto amplía el potencial para que las compañías operadoras de redes generen nuevos ingresos, ya que la SDH dispondrá de

interfaces adecuadas, tanto para señales plesiócronas como para circuitos de LAN, MAN, ISDN, B-ISDN, HDTV y ATM entre otros.

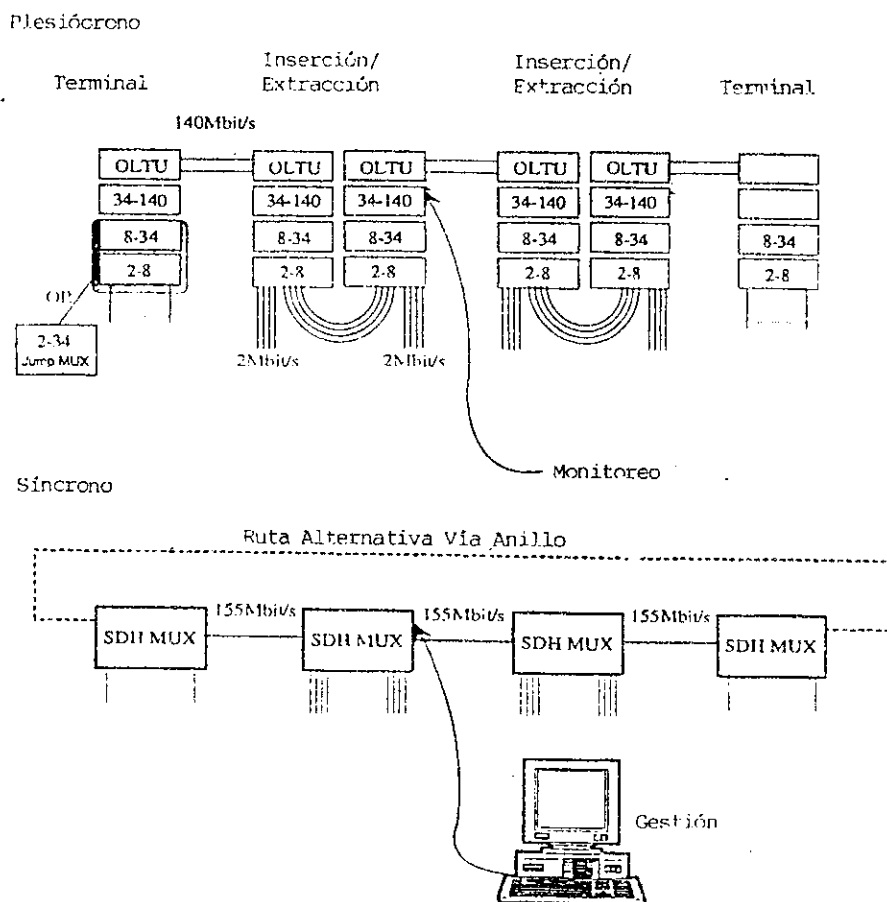


FIGURA 3.2

## 2. Robustez:

El desarrollo de medios de transmisión de alta calidad y el uso de equipos síncronos en la red hacen posible el monitoreo extremo-extremo y el mantenimiento de la integridad de la red. La capacidad de gestión de la red síncrona permitirá identificar inmediatamente las fallas en los enlaces.

Mediante el uso de arquitecturas de anillos de autorrecuperación (self-healing) y equipos de cross-conexión, la red puede ser reconfigurada automáticamente, permitiendo cambios en el enrutamiento de tráfico instantáneamente hasta que dicha falla sea solucionada.

De esta manera, las fallas en la red de transporte deberían ser invisibles en los extremos. Los servicios no serán interrumpidos permitiendo a los operadores de redes comprometerse a proveer servicios de alta disponibilidad y garantizar altos niveles de calidad en la Red.

## 3. Control por software:

La provisión de canales de gestión dentro de la trama SDH implica que la Red Síncrona será completamente controlable mediante software. Los sistemas de gestión de la red llevarán a cabo no sólo las funciones tradicionales, relacionadas con el manejo de alarmas, sino que además proveerán muchas otras funciones, tales como monitoreo de

desempeño, control de la configuración, seguridad de la red, manejo de inventarios y planificación y diseño de la red.

La posibilidad de aprovisionamiento remoto y centralizado del mantenimiento, significará grandes ahorros en el tiempo empleado por el personal de mantenimiento al viajar hacia sitios remotos y en los gastos que dichos viajes implican.

#### 4. Ancho de banda en demanda:

En la red síncrona será posible la asignación dinámica de capacidad o ancho de banda en demanda. Los usuarios, en cualquier lugar de la red, tendrán acceso a todos los servicios ofrecidos sin tener que dar aviso con mucha anticipación. Por ejemplo, los usuarios que lo requieran tendrán acceso a participar en videoconferencias con sólo marcar el número indicado, contrariamente al procedimiento actual que implica reservación con muchos días de anticipación.

En una red plesiócrona, para proporcionar un servicio de banda ancha, se tiene que disponer de canales a la velocidad adecuada en el nodo de la compañía de telecomunicaciones al que se conecta el usuario. Con ello, se realiza el tendido de cables necesario en los marcos de distribución para establecer el enrutamiento adecuado (lo que puede ser requerido en varios nodos) y se realizan las

pruebas correspondientes. Si no existiera disponibilidad de canales, se debe instalar equipo multiplexor adicional al existente hasta llegar a la velocidad deseada, lo que aumenta todavía más el tiempo y costo de instalación del servicio requerido. En cambio, en una red síncrona sólo se necesita colocar una tarjeta de interfaz adecuada en el multiplexor, y luego mediante el sistema de gestión se realizan los enrutamientos adecuados a lo largo de la red.

#### **5. Red con futuro garantizado:**

La SDH ofrece a los operadores de redes una solución garantizada en el futuro, además del mejoramiento de las características del equipo mediante software y compatibilidad con los equipos existentes. Los gastos en equipos síncronos son inversiones al futuro, ya que la SDH ha sido elegida como soporte de la próxima generación de redes de telecomunicaciones: la Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha (B-ISDN).

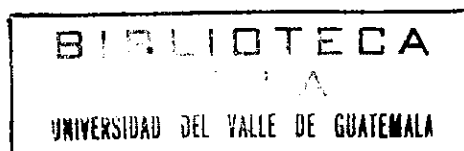
#### **6. Estandarización:**

Los estándares de la SDH conllevan a que equipos terminales de línea ópticos de diferentes fabricantes puedan trabajar sobre el mismo enlace. Esto ha resultado de estándares que definen interfaces fibra-fibra en el nivel físico (fotónico). Dichos estándares determinan la

velocidad, longitud de onda, potencia, forma de los pulsos y códigos. Por otro lado, la estructura de trama, taras y mapeo de cargas útiles también son definidos.

Esto significa que los operadores de redes ya no estarán en las manos de un mismo fabricante, sino que tienen la opción de elegir entre equipos de diferentes proveedores, facilitando incluso la operación entre la jerarquía de transmisión europea y la americana.

Además, al completar los estándares sobre la Red de Gestión de Telecomunicaciones (TMN) será posible manejar desde un mismo centro equipos de diferentes fabricantes, tanto síncronos como plesiócronicos, que formen parte de la Red. Sin embargo, al presente, la experiencia con los novedosos sistemas de transmisión SDH es escasa. Recién se han instalado las primeras redes síncronas (a manera de islas) y los resultados, aunque muy prometedores, todavía no son concluyentes. Por lo tanto, la migración hacia la SDH no debe realizarse precipitadamente sino que en forma cautelosa y planificada.





#### IV. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE TRANSMISION SINCRONO

##### A. COMPONENTES DE UN SISTEMA SINCRONO.

Una red de transmisión síncrona es constituida, al igual que cualquier otra, por varios tipos de elementos. En el presente trabajo se consideran multiplexores, equipos de cross-conexión y radios de microonda digital.

##### 1. Multiplexores síncronos:

Antes de la evolución de los estándares que cubren la SDH, las redes de telecomunicaciones se constituyeron con equipos diferentes para la multiplexación y para el acceso al medio de transmisión. Esto se caracteriza por interfaces eléctricas a cada nivel de la jerarquía de transmisión (de acuerdo a la Recomendación G.703 del CCITT) y las respectivas interfaces de línea que eran enteramente propietarias. El resultado fue grandes cantidades de multiplexores y equipo terminal de línea separados, además de los sistemas de conmutación de protección.

Los multiplexores síncronos, tal como se definen por el CCITT, realizan tanto las funciones propias de multiplexación como las funciones del equipo terminal de línea (ver figura 4.1). Dicha característica permite a estos multiplexores reemplazar un banco de multiplexores

plesiócronos y sus equipos terminales de línea asociados, brindando al mismo tiempo nueva funcionalidad.

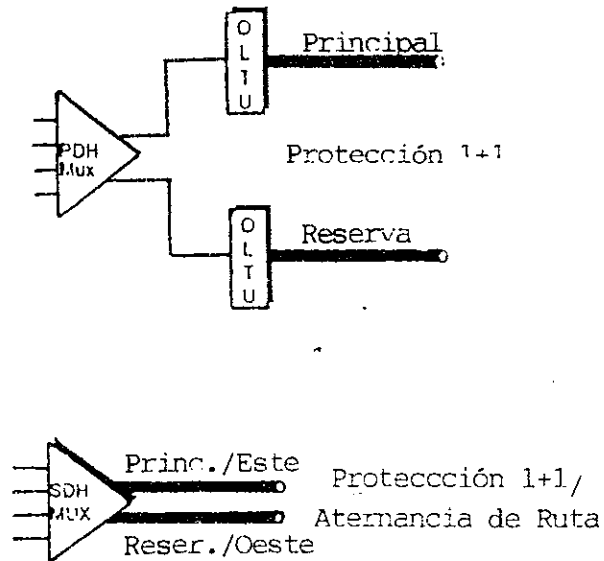


FIGURA 4.1

Dichos multiplexores, además, aceptan una gran variedad de señales de entrada (tributarios) y ofrecen varias velocidades de salida (afluentes), como se aprecia en la figura 4.2. En el lado tributario, todas las velocidades plesiócronicas son aceptadas, y está planeado facilitar interfaces para LAN, MAN, FDDI, B-ISDN y ATM entre otras. En el lado afluente, los estándares definen tres velocidades (ver Tabla 3.1).

La interfaz óptica de los afluentes en los multiplexores síncronos, como se define en la Recomendación

G.957 del CCITT, puede duplicarse para fines de protección. Esto se puede realizar de dos maneras: utilizando la configuración tradicional 1+1, o bien los puertos pueden operar con funcionalidad Este/Oeste.

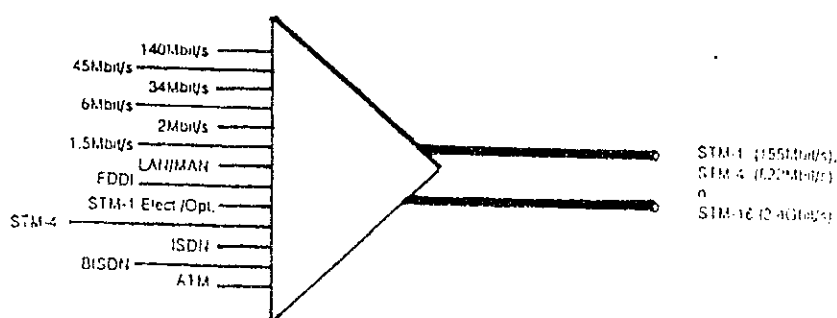


FIGURA 4.2

La funcionalidad Este/Oeste permite disponer de dos interfaces bidireccionales en el lado afluente. Cada interfaz opera en forma independiente, lo que permite al multiplexor asignar libremente las señales transportadas por cada puerto. Esto facilita las operaciones de inserción y extracción empleadas en las topologías de anillo y bus.

En la Recomendación G.782 del CCITT se presentan cuatro tipos de multiplexores síncronos como ejemplos. A continuación se describen, y un esquema gráfico se muestra en la figura 4.3.

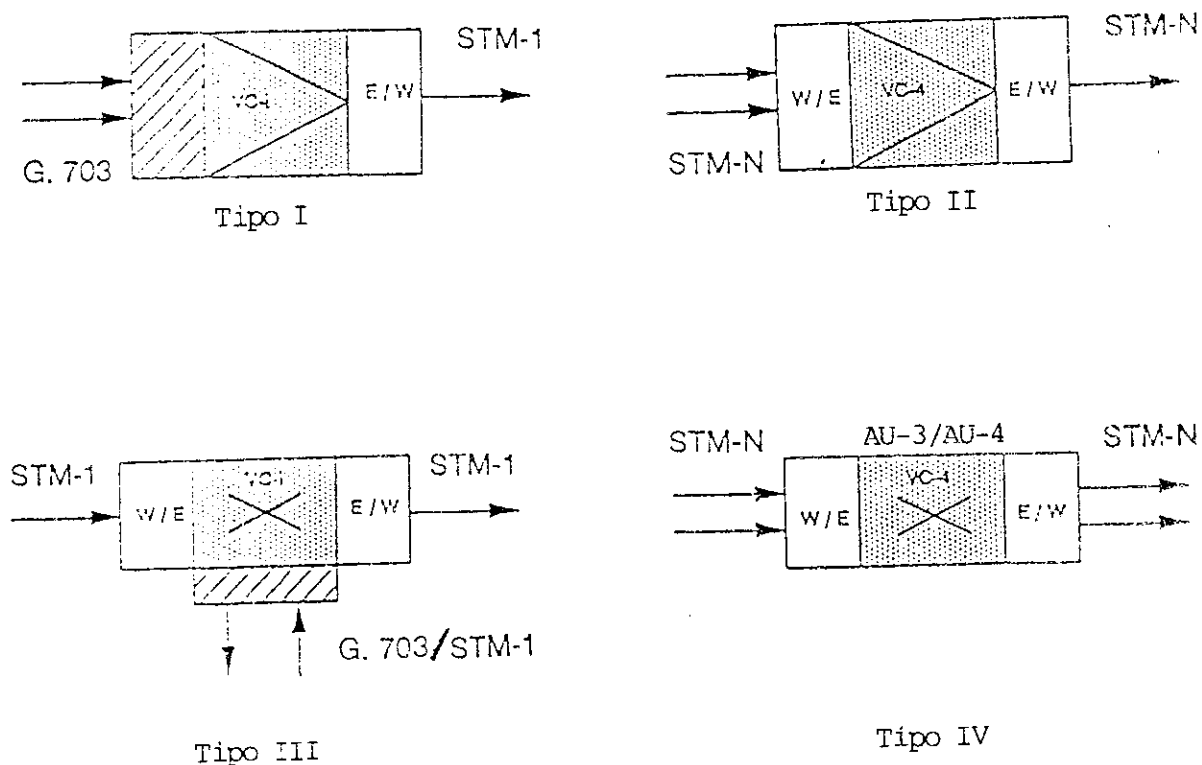


FIGURA 4.3

#### a) Multiplexor tipo I:

En este tipo, se provee la facilidad de multiplexar tributarios plesiócronicos mediante interfaces eléctricas definidas en la recomendación G.703 del CCITT, contándose con un afluente STM-N. Por ejemplo se pueden acomodar 63 señales de 2 Mbps en un STM-1, o bien 12 señales de 34 Mbps en un STM-4.

Se utiliza principalmente como multiplexor terminal en enlaces punto a punto.

**b) Multiplexor tipo II:**

En este se provee la habilidad de combinar varios tributarios STM-N en una señal STM-M ( $M \geq N$ ). Se puede utilizar como centro (HUB) en aplicaciones donde se requiera interconectar varios sitios, ya sea en topologías de estrella, o bien, en interconexión de anillos.

**c) Multiplexor tipo III:**

Este multiplexor provee las funciones de inserción y extracción. Es decir, permite acceso a cualquiera de las señales que conforman un afluente STM-N, sin tener que demultiplexar y terminar la señal completa, mediante interfaces del tipo G.703. Para este multiplexor se requiere que los puertos afluentes operen en la modalidad Este/Oeste, mencionada con anterioridad.

El procedimiento interno es terminar en forma local los VC's contenidos en uno de los afluentes, o bien multiplexarlos de nuevo para ser transportados por el otro afluente. Además, se permite que los VC's generados localmente sean asignados a cualquier posición vacante en los afluentes.

Su aplicación principal se encuentra en topologías de anillo y en topologías de bus con puntos de inserción y extracción.

**d) Multiplexor tipo IV:**

Este cuenta con funciones de traducción para permitir que los VC-3 contenidos en redes basadas en AU-3 (SONET) transiten en redes basadas en AU-4 (SDH). Esto es necesario ya que el estándar SDH no contempla el uso de AU-3, que sí son consideradas en el estándar SONET.

Su trabajo consiste en extraer los VC-3 contenidos en las AU-3 para que sean mapeados en VC-4 y luego formar las AU-4. La velocidad de línea, STM-N, se conserva igual.

**2. Equipos de cross-conexión:**

Los sistemas de cross-conexión son básicamente distribuidores digitales electrónicos capaces de interconectar una gran cantidad de circuitos vía una matriz de conmutación controlada mediante software. En una red síncrona las conexiones semipermanentes entre diferentes canales se realiza al nivel de los contenedores virtuales.

Podría parecer que la cross-conexión es similar a la conmutación, pero hay diferencias fundamentales entre ellas. La principal es que la conmutación opera como conexión temporal hecha bajo el control del usuario final, mientras que la cross-conexión es una técnica de transmisión usada en conexiones semipermanentes bajo el control del operador de la red vía el sistema de gestión de la red. Sin embargo, al evolucionar los servicios de la red hacia la banda ancha, es

posible que la conmutación y la cross-conexión tiendan a unirse, siendo ésto particularmente cierto cuando los servicios de Modo de Transferencia Asíncrona (ATM) comiencen a ser usados en alto volumen.

Existe una gran distinción entre los equipos de cross-conexión plesiócronicos (DXC) y los equipos de cross-conexión síncronicos (SDXC). El cross-conector plesiócrico fue desarrollado para sustituir a los marcos de distribución digital (DDF), los cuales requieren mucho trabajo y no son muy fiables (ver figura 4.4). Para ello fue necesario crear lo que se conoce como estructura tiempo-espacio-tiempo, que permite que el tráfico que atraviesa el cross-conector comparta la conexión física en diferentes intervalos de tiempo.

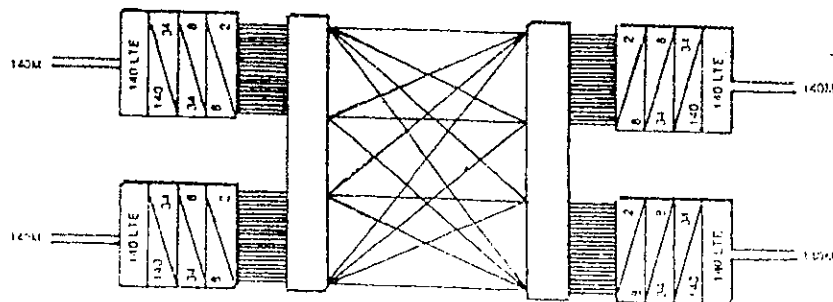


FIGURA 4.4

El tráfico a través del cross-conector plesiócrico, sin embargo, necesita ser sincronizado, por lo que se requiere de mecanismos de justificación al interfazarse con la red.

Además, el tráfico necesita ser limitado a una velocidad, ya que sólo de esta manera el cross-conector puede operar fácilmente. Esto implica la demultiplexación de todo el tráfico hasta la velocidad de conmutación antes de ser conectado, incrementando así el equipamiento requerido, tamaño y costo. En algunos casos, no se necesitan multiplexores adicionales, sino que las tarjetas de interfaz del cross-conector realizan la demultiplexación en forma opcional.

Con la introducción de los sistemas síncronos, la necesidad de justificación es eliminada. La figura 4.5 muestra la diferencia en la forma de interfazar el tráfico entre los dos tipos de cross-conectores. En los sistemas plesiócronicos es necesario emplear, adicionalmente, equipos terminales de línea y multiplexores, mientras que en los sistemas síncronos la interface se realiza en una tarjeta del cross conector.

La diferencia más grande entre los dos tipos de cross-conectores es su aplicación. Un DXC es requerido cuando se realiza una gran cantidad de inserción/extracción o cuando muchas reconfiguraciones manuales toman lugar en el DDF con el propósito de ofrecer mayor flexibilidad o simplemente reordenar el tráfico. Por el otro lado, la función de cross-conexión en la red síncrona no implica necesariamente el uso de una pieza de equipo aparte. La flexibilidad de la

SDH permite que dichas funciones residan casi en cualquier elemento de la red, siendo el más obvio el multiplexor de inserción/extracción. Esto significa que la planificación de la cross-conexión síncrona se rige por normas diferentes.

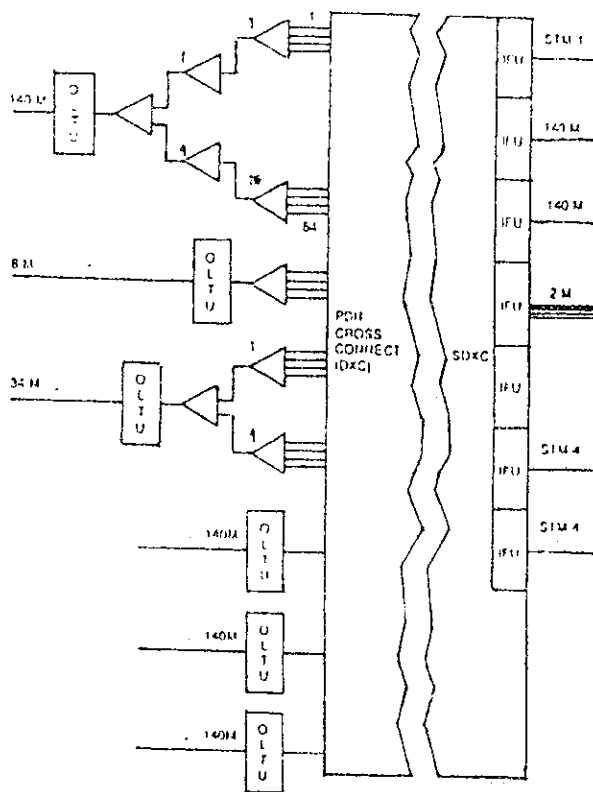


FIGURA 4.5

A pesar de que la cross-conexión se puede distribuir a través de la red síncrona, es posible tener equipos cross-conectores dedicados. Dichos equipos son utilizados para complementar la cross-conexión distribuida de la red

síncrona en aplicaciones especiales, como cuando se tiene un número excesivo de puertos que manejar o con fines de protección en los principales centros de conmutación. El CCITT presenta tres ejemplos de configuración en la Recomendación G.782. En dichos ejemplos los SDXC son clasificado como tipo I, II o III, dependiendo si la cross-conexión la realiza a nivel de VC de orden superior, de orden inferior o ambos.

### 3. Radios de microonda digital:

Aunque se espera que la fibra óptica domine la red de transporte troncal, los sistemas de radio síncronos juegan un papel importante al proveer soluciones flexibles, económicas y de rápida implementación, aunque de capacidad limitada.

Tanto el CCIR como el ETSI y el CCITT han trabajado arduamente en la normalización de estructuras que contengan las tramas síncronas. El resultado ha sido sistemas que transmiten señales STM-1 que operan junto con los sistemas existentes de 140 Mbps, haciendo uso de esquemas de modulación más elevados (hasta 512 TCM) y sistemas digitales de cancelación de interferencia por polarización cruzada (XPIC), lo que permite la reutilización de las frecuencias.

Además, se ha estandarizado una trama a 51.84 Mbps (Recomendación 750 del CCIR) para sustituir a los radios de

mediana y baja capacidad. Una característica especial de estos radios es que incluyen funciones de multiplexación, lo cual les permite interfazarse con tributarios a 2 Mbps (hasta un máximo de 21), transmitir una señal de 51.84 Mbps (que básicamente es un VC-3 con tara de sección reducida) y luego interfazarse con un multiplexor síncrono con una señal STM-1. A pesar de estar completamente definida esta sub-trama síncrona, se utiliza sólo en enlaces de microonda y no representa un interfaz de nodo. En la figura 4.6 se muestra la estructura de la sub-trama síncrona.

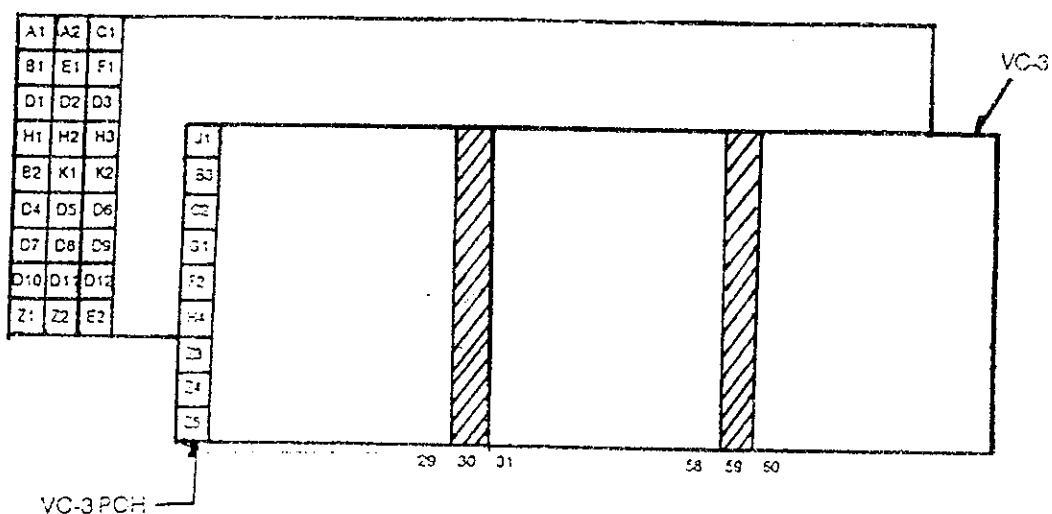


FIGURA 4.6

## B. CONFIGURACIONES DE SISTEMAS SINCRONOS.

Gracias a la gran flexibilidad de los equipos

síncronos, estos pueden ser utilizados en una gran variedad de ambientes, para cumplir con diferentes propósitos.

Los radios síncronos presentan sólo un medio de transmisión, y deben ser conectados a un multiplexor síncrono para proveer los servicios necesarios. En general, en el presente trabajo se hace referencia a sistemas de línea cuyas interfaces ópticas son parte integral del multiplexor síncrono. Sin embargo, en algunas aplicaciones es necesario utilizar enlaces de radio sin afectar la funcionalidad del sistema.

A continuación se presentan algunas configuraciones típicas de redes síncronas.

#### 1. Configuración punto a punto:

En la configuración punto a punto se establece un enlace de comunicaciones únicamente entre dos sitios, de tal manera que los circuitos o canales de comunicaciones originados en un sitio sean terminados en el otro.

Los equipos síncronos son competitivos con las opciones plesiócronas cuando se establecen enlaces de alta capacidad (a partir de 155 Mbps), ya que sólo requieren un multiplexor terminal en cada extremo (ver figura 4.7), mientras que los enlaces plesiócronos emplearían varios multiplexores en cada extremo, y los equipos terminales de línea asociados. Además, con los multiplexores síncronos se facilitaría la

evolución del enlace hacia otro tipo de configuración.

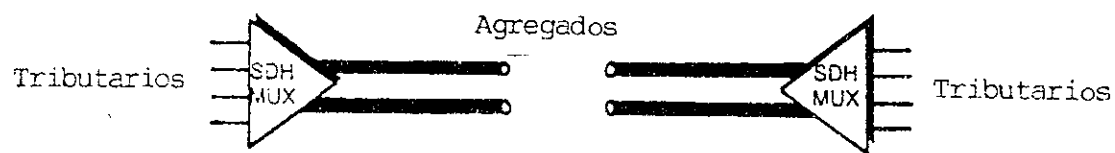


FIGURA 4.7

## 2. Configuración inserción-extracción en bus:

Esta configuración es similar a la anterior, como se muestra en la figura 4.8, pero se utilizan algunos multiplexores de inserción-extracción para extender las facilidades de transporte a otros nodos.

Los circuitos originados en un punto de la red pueden ser terminados en cualquier otro a lo largo del bus.

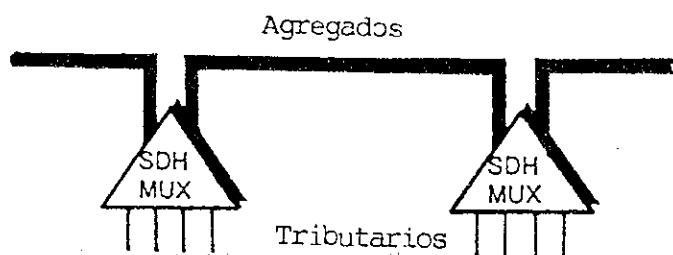


FIGURA 4.8

## 3. Configuración centro (hub):

Un nodo de la red en esta configuración proporciona interconectividad de alta capacidad entre varios sitios o

extensivamente para lograr la reconfiguración automática de la red, brindando alta protección a las señales que transporta.

Muchas arquitecturas de anillos síncronos han sido propuestas para aplicaciones en telecomunicaciones. Los anillos autorrecuperables (SHR) pueden ser divididos en dos categorías: anillos autorrecuperables bidireccionales (B-SHR) y anillos autorrecuperables unidireccionales (U-SHR). El tipo de anillo depende del camino viajado por un canal dúplex de comunicaciones entre cada par de nodos. El SHR es llamado bidireccional si las dos direcciones del canal, tanto transmisión como recepción, viajan sobre el mismo trayecto, o bien es llamado unidireccional si viajan sobre trayectos opuestos.

En la figura 4.10(a) se muestra un anillo bidireccional empleando cuatro fibras, mientras que en la figura 4.10(b) se emplean únicamente dos. En ambos casos se observa como las direcciones de transmisión y recepción del canal dúplex entre los nodos 1 y 2 viajan sobre el mismo trayecto  $1 \leftrightarrow 2$ . En la figura 4.10(c) se muestra un anillo unidireccional que utiliza dos fibras. Las dos direcciones del canal dúplex en este último ejemplo viajan sobre direcciones opuestas, trayecto 1:  $1 \rightarrow 2$  y trayecto 2:  $2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ .

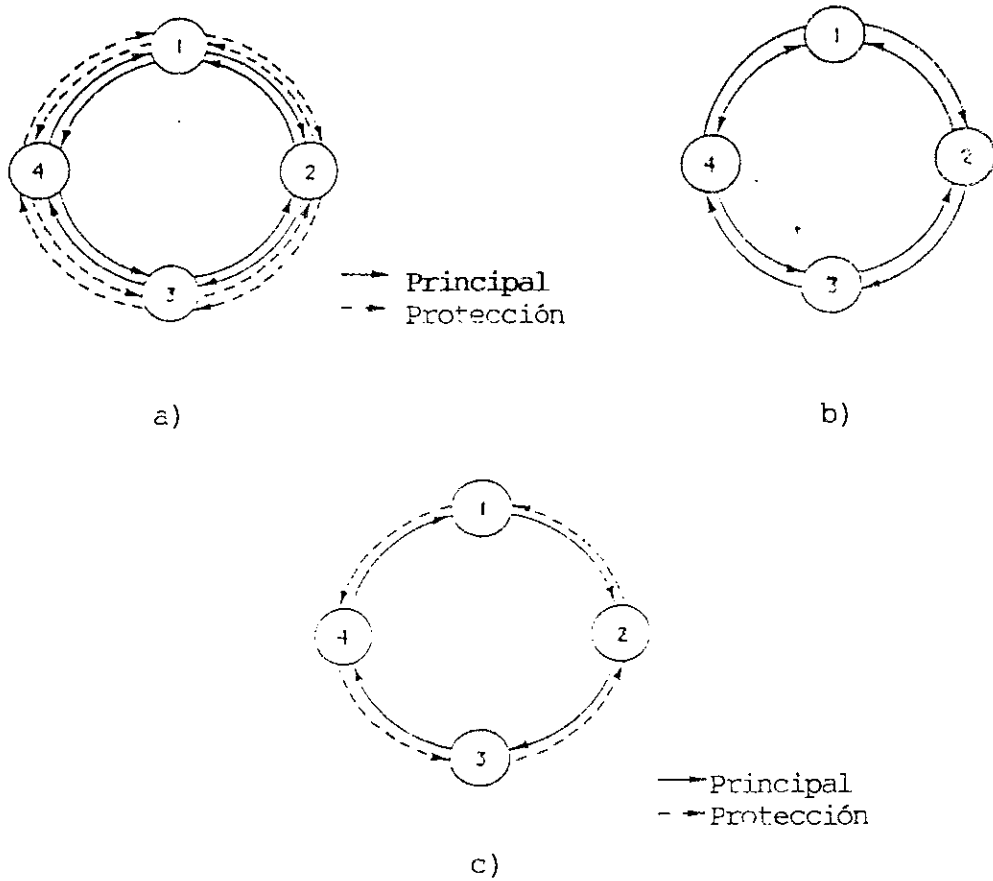


FIGURA 4.10

Para proporcionar protección contra fallas en el cable de fibra óptica, un B-SHR puede utilizar cuatro o dos fibras. El primer caso es una evolución de los sistemas punto a punto tradicionales con protección 1+1, mientras que en el segundo caso, la capacidad de transporte del anillo es utilizada parcialmente, de tal forma que en caso de falla el tráfico pueda ser reenrutado a través de la parte del anillo no afectada, como se muestra en la figura 4.11.

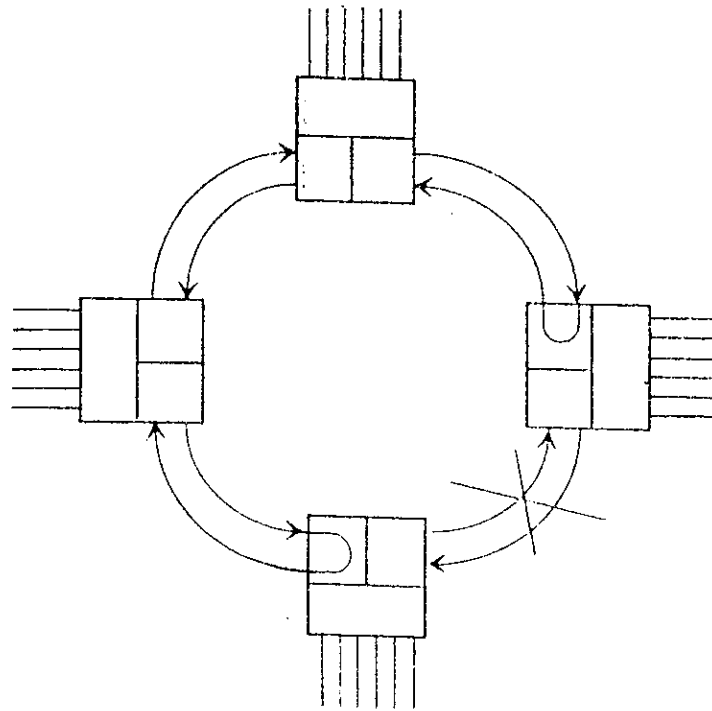


FIGURA 4.11

En el U-SHR dos fibras son suficientes para brindar las funciones de protección, una con tráfico principal y la otra como reserva. En este caso, ambas fibras transmiten la misma información, sólo que en sentido contrario y con diferencia de retardos entre las estaciones. En caso de falla en la red, se selecciona en cada nodo la fibra adecuada, como se muestra en la figura 4.12.

Para cada tipo de anillo y protecciones expuestos, existen dos esquemas para el control de la autorrecuperación, que es conmutación de protección de sección y conmutación de protección de trayecto. La protección de sección utiliza la tara de sección para

reestablecer el tráfico en caso de falla, mientras que la protección de trayecto utiliza la tara de trayecto para restituir las señales afectadas en forma independiente cada una.

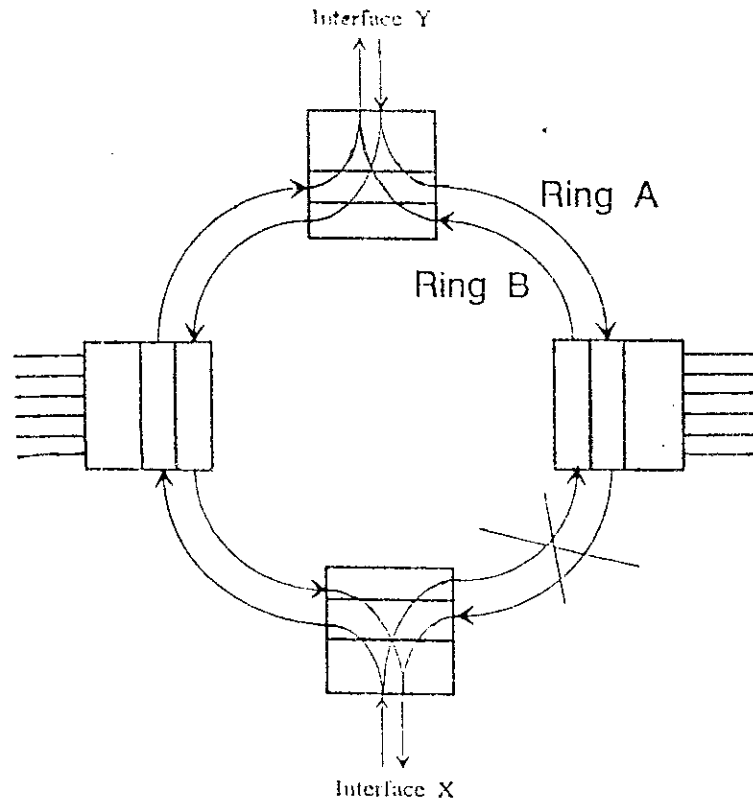


FIGURA 4.12

La relación de costos y eficiencia entre los anillos bidireccionales y los anillos unidireccionales depende enormemente de la aplicación, el tamaño de la red y el modelo de demanda utilizado. En todo caso la selección de

la arquitectura apropiada estará muy relacionada con los análisis económicos de la compañía operadora de la red, el énfasis en ambientes con diferentes proveedores, y el avance en los trabajos de estandarización de las redes de telecomunicaciones.

#### 5. Configuración malla:

La tendencia de las compañías administradoras de telecomunicaciones es usar configuraciones de malla en el núcleo de la red empleando equipos de cross-conexión.

En una red mallada cada uno de los nodos posee rutas directas de comunicación con los otros nodos de la red, por lo que ofrece el grado de confiabilidad más alto. Pero además, con el uso de cross-conectores se puede distribuir el uso de rutas de protección a través de la red, de tal manera que la capacidad dedicada a este fin sea menor y por ende se permita una mayor utilización de la capacidad instalada de transmisión.

#### B. SINCRONIZACION:

Una característica fundamental de la SDH es que cada equipo del nodo de transmisión se sincronice normalmente a una referencia única. Esta se distribuye a todos los elementos de la red y se utiliza para sincronizar a los

relojes (en papel de esclavos) que controlan las salidas STM-N.

La red de distribución de referencia tiene la forma de un árbol con varios niveles de calidad especificados por el CCITT en las Recomendaciones G.811 y G.812. En principio, los relojes dependen de uno de calidad igual o superior, pero si la referencia falla, los relojes trabajan en modo autónomo (por sí mismos, sin referencia) con una estabilidad definida.

Uno de los métodos más empleados, consiste en pasar la información de temporización desde la referencia primaria, a través de la red de sincronización, hasta alcanzar los diferentes equipos en cada nodo. Dicha red emplea canales de 2 Mbps y puede verse como un cliente más de la red de telecomunicaciones. En cada nodo, un reloj esclavo recibe la información de temporización proveniente de otros nodos (según la jerarquía) y proporciona la señal de temporización necesaria a todos los demás relojes en ese nodo. Este procedimiento está basado en el concepto BITS (Fuente de Temporización Integrada del Edificio)

En caso de fallo del equipo o corte del enlace, el árbol de sincronismo debe reconfigurarse. Esto se logra conmutando a una segunda referencia de buena calidad si se encuentra disponible. La selección de dicha fuente debe tomar en cuenta la calidad que se ofrece, razón por la cual

se emplea un indicador de calidad de sincronismo en la tara de sección. Según la Recomendación G.782 la referencia de reloj en los equipos síncronos puede provenir de un tributario, un afluente, una interfaz de 2 Mbps dedicada a funciones de temporización, o bien, un reloj interno que permita la operación en modo autónomo.

Se espera que los canales que contienen la información de temporización sean transportados en enlaces plesiócronicos al momento de ser instalada la red síncrona. Luego, al entrar en servicio, los equipos SDH se pueden hacer cargo de dichos canales. Sin embargo, en este punto hay algunas discusiones. La opción de transportar la temporización dentro de la red SDH parece ser lo más lógico y consistente con el concepto de la red síncrona, pero las acciones de autorecuperación de la SDH, que son muy útiles para mantener la integridad de la red, podrían afectar a la sincronización al agregar complejidad y problemas administrativos en su distribución debido a la carencia de una jerarquía bien definida.

Dos posibles alternativas se consideran. Por un lado conservar enlaces plesiócronicos dedicados a la distribución de sincronía en forma paralela a la red SDH, y por el otro, adoptar el concepto de sincronización distribuida que implica el uso de un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) en cada nodo. Este último eliminaría la necesidad de la

distribución de temporización, ya que cada nodo tendría una referencia primaria obtenida vía satélite.

Al final, no hay algo escrito en cuanto a cuál método utilizar, ya que existen amplias discusiones sobre las conveniencias de cada uno, pero las experiencias con la sincronización en redes SDH son escasas.

## V. EVOLUCION HACIA LA RED SDH

### A. ESTRATEGIAS DE LA EVOLUCION.

La meta de toda empresa operadora de redes de telecomunicaciones es lograr que las redes sean capaces de suplir las necesidades actuales, que crezcan rápidamente al mediano plazo y se adapten fácilmente a las necesidades del futuro, a través de la mejor relación beneficio/costo posible. En este sentido, en los últimos años, la SDH ha tomado gran importancia, toda vez que los grandes fabricantes han invertido enormes cantidades de recursos en su desarrollo para brindar la mayor cantidad posible de prestaciones con la menor cantidad de equipo. Como resultado, las mayores compañías telefónicas han iniciado su introducción en forma experimental durante los últimos dos años. El objetivo es lograr su aceptación a nivel mundial para que sirva de base a las redes de telecomunicaciones del mañana. Uno de los aspectos más críticos en su implementación la determinación de la estrategia más adecuada para llevar a cabo la evolución de las redes de comunicaciones plesiócronicas actuales hacia las redes síncronicas del mañana. Introducir la SDH en una red nueva es relativamente sencillo, ya que no se cuenta con la

problemática de plantear una política que contemple la sustitución de equipos existentes, ni la convivencia temporal con equipos plesiócronicos. Sin embargo, se debe considerar que la planificación de una red que se basa en SDH es diferente que la basada en PDH. Básicamente la gran diferencia estriba en el hecho que la PDH provee únicamente enlaces punto a punto, mientras que en la SDH los multiplexores de inserción/extracción permiten otro tipo de configuraciones de manera natural al sistema, siendo la tendencia el utilizar anillos autorrecuperables independientemente de la topología de interconexión lógica de la red.

Cuando se posee una red plesiócrona que ha de evolucionar hacia la SDH, en cambio, se debe planificar cuidadosamente la forma en que los equipos síncronicos sustituirán a los plesiócronicos. En principio se puede hablar de tres estrategias para introducir en forma gradual la SDH en la red de telecomunicaciones:

1. Estrategia "Arriba-Abajo".
2. Estrategia "Abajo-Arriba".
3. Estrategia "Sobrepuesta".

#### 1. Estrategia arriba-abajo:

La meta de esta estrategia es introducir los sistemas

SDH en el núcleo de la red que sirve de transporte a los grandes nodos interurbanos, extendiéndose paulatinamente hacia las redes regionales y locales. La designación arriba-abajo proviene del hecho que los enlaces interurbanos se sitúan en la parte superior de la jerarquía de la red, mientras que los enlaces locales ocupan la posición más baja.

La gran ventaja de esta estrategia es que introduce en forma rápida las funciones de protección y restauración propias de las redes síncronas en los ambientes interurbanos, que son los que conducen el tráfico más importante. Sin embargo, es desventajosa por no permitir la inmediata introducción de los servicios característicos de la red síncrona en forma directa al usuario, ya que es hasta el último momento que estos equipos llegan a las redes locales.

## 2. Estrategia abajo-arriba:

Esta estrategia, al contrario de la anterior, introduce la SDH en áreas específicas de la red local creando "islas SDH", progresando más tarde hacia las redes regionales e interurbanas.

Esto es ventajoso debido a que facilita la introducción rápida de nuevos servicios para los usuarios. Su desventaja es que no permite interconectividad SDH en forma inmediata entre las islas, aunque como alternativa se pueden utilizar

los modems PDH/SDH, que permiten el tránsito de tramas SDH a través de las redes PDH.

### **3. Estrategia sobrepuesta:**

Esta estrategia consiste en la introducción de los sistemas SDH para crear una red síncrona en forma paralela con la red PDH. La idea es que en lugar de migrar los sistemas a una jerarquía superior, se adquieran los nuevos equipos para repartir el tráfico a través de dos redes según las necesidades lo requieran.

Posee la ventaja de introducir en forma rápida los nuevos servicios a los usuarios, brindando una relación directa con el incremento de la red. Sin embargo tiene el gran inconveniente de necesitar mantenimiento de dos tipos de redes diferentes, aunque ya se cuente con la infraestructura necesaria para hacerlo.

### **B. ESTADO ACTUAL DE LA RED METROPOLITANA.**

Las facilidades de telecomunicaciones en el área metropolitana consistirán, a partir de finales de 1995, de 34 centrales telefónicas en total, ubicadas en 14 sitios. De dichas centrales, tres tienen funciones de centrales internacionales, que están ubicadas en Tívoli y Guarda

Viejo, cuatro con funciones de centrales interurbanas ubicadas en Torre de Guatel, Reformita y Guarda Viejo, y cuatro centrales tránsito ubicadas en Lourdes, Tívoli, Guarda Viejo y Monte Verde.

En lo que es propiamente la red metropolitana, la topología de interconexión de conmutación es extremadamente mallada, siendo la mayor parte del tráfico conducido por las centrales de tránsito. Esto hace muy difícil la provisión de una red de transmisión sencilla y flexible que utiliza enlaces plesiócronicos punto a punto, ya que en los nodos se requiere una gran cantidad de operaciones de inserción, extracción, enrutamiento y ordenamiento.

### RED 34 MBIT/S

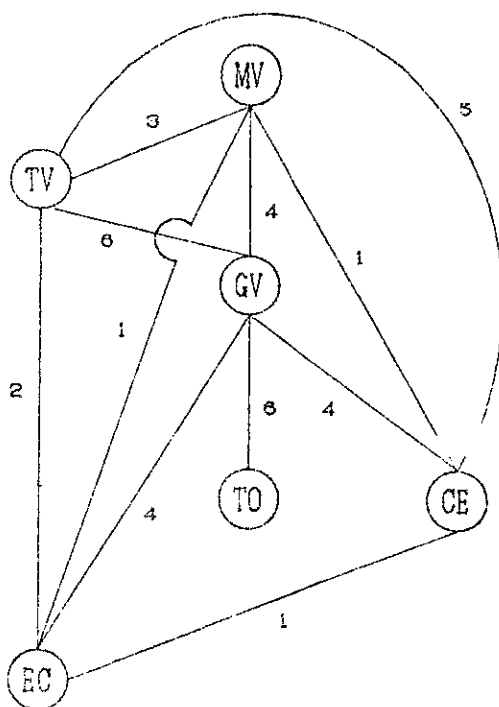


FIGURA 5.1

En cuanto a servicios no telefónicos, se cuenta con una red conmutada de datos X.25 llamada MAYAPAQ, que utiliza canales de 64 Kbps entre sus nodos. Además, se prestan servicios de canales dedicados punto a punto con velocidades que varían entre 1.2 Kbps y 2 Mbps, y servicios de IBS que tiene salida vía satélite mediante la estación terrena Jezriél que se encuentra ubicada en Tívoli.

La red actual de transmisión del área metropolitana cuenta con enlaces digitales sobre cobre y fibra óptica. Los primeros son enlaces PCM a 2 Mbit/s y los últimos son enlaces de tecnología plesiócroma en configuración punto a punto con esquemas de protección 1+1.

### RED 140 MBIT/S

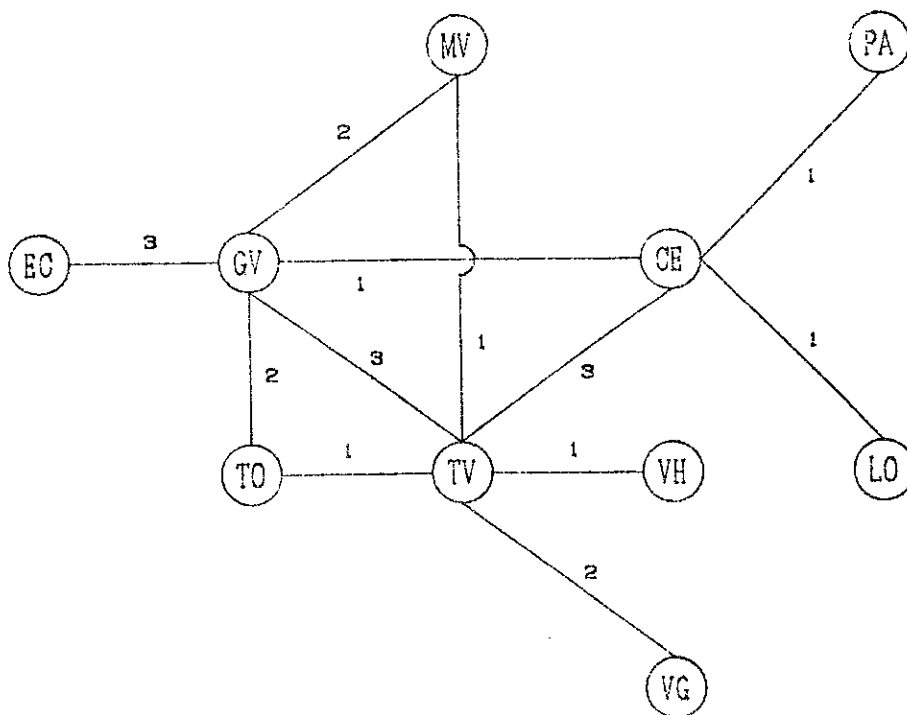


FIGURA 5.2

Una parte de los enlaces ópticos funcionan a la velocidad de 34 Mbps sobre fibra multimodo, como se muestra en la figura 5.1, mientras que otra parte funcionan a 140 Mbps sobre fibra óptica monomodo, como se muestra en la figura 5.2. Además, se encuentran en la etapa final de contratación algunos enlaces que operarán a 565 Mbps,

### RED 565 MBIT/S

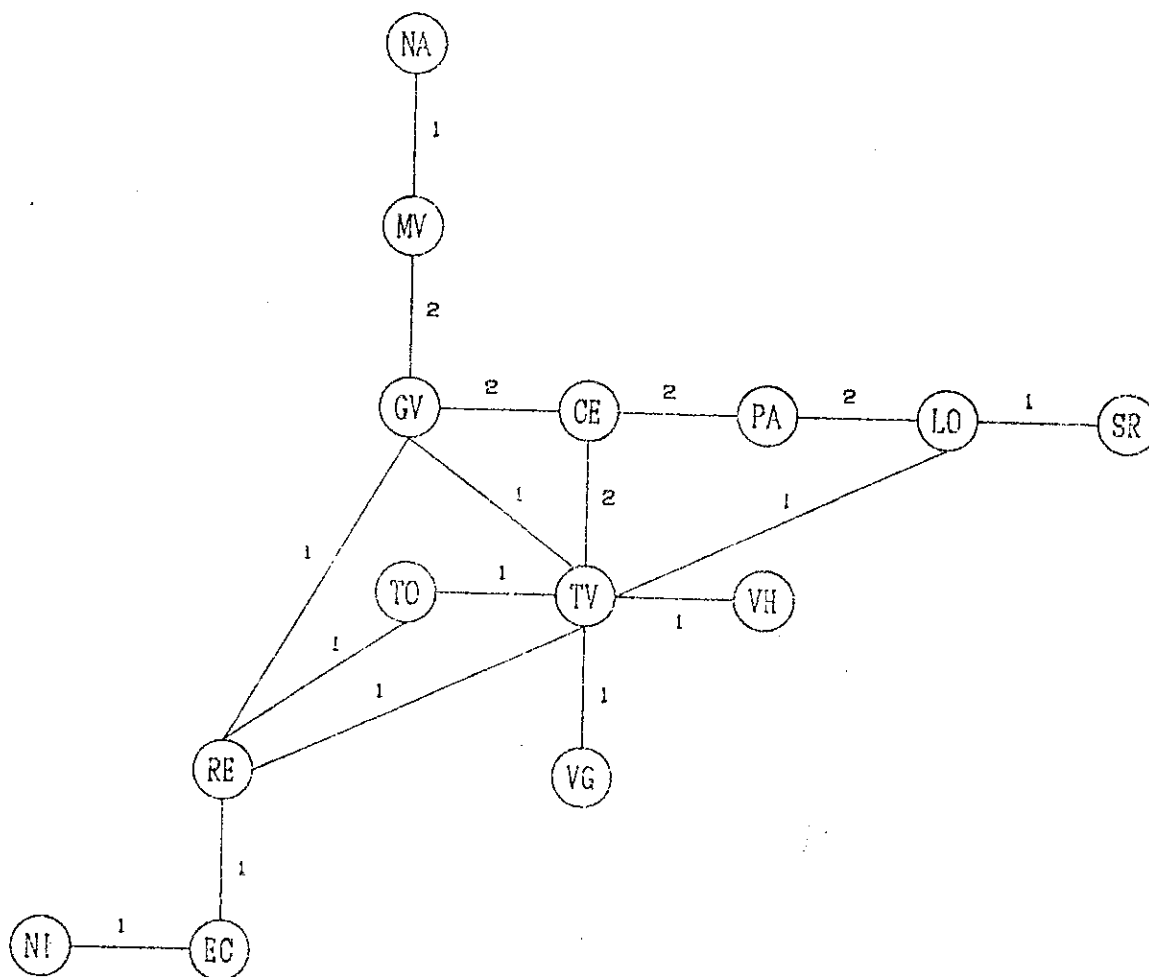
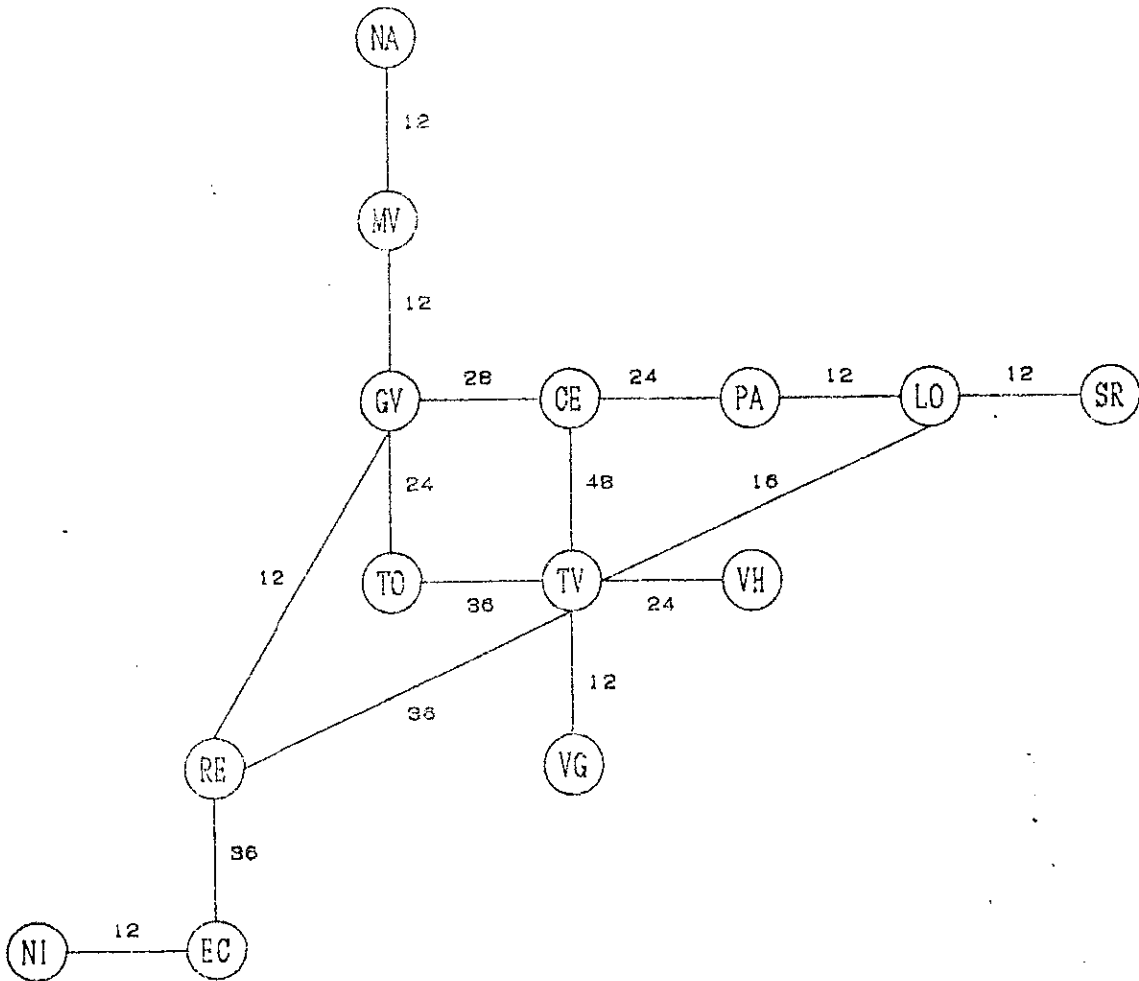


FIGURA 5.3

esperando su entrada en funcionamiento para la mitad de 1994. Estos últimos enlaces se muestran en la figura 5.3.

En la figura 5.4 se muestran las rutas físicas de los cables de fibra óptica empleados en los enlaces. Las rutas son existentes, excepto Lourdes-Tívoli, San Rafael-Lourdes y Monte Verde-El Naranjo, las cuales serán instaladas en el transcurso del próximo año.

**FIBRAS INSTALADAS**



**FIGURA 5.4**

Como ya se mencionó, se emplean esquemas de protección 1+1 y para mayor seguridad de la red, en algunos enlaces importantes, el sistema de protección se conduce por una ruta física (cable de fibra óptica) diferente a la del sistema principal.

De lo expuesto anteriormente, se observa que debido al alto uso de los marcos de distribución digital, la gran cantidad de multiplexores plesiócronicos y el número muy grande de fibras empleadas (en los esquemas de protección 1+1 se requieren cuatro fibras por cada enlace), se cuenta en Guatemala con una red bastante complicada.

Por otro lado, los enlaces ópticos mencionados en este apartado han sido adquiridos por GUATEL en proyectos que involucran cuatro proveedores diferentes. Esto presenta algunas dificultades, como por ejemplo el hecho que cada proveedor cuenta con su propio sistema de supervisión y control, los cuales no son compatibles entre sí, resultando en la imposibilidad de tener un sistema centralizado. Además, dichos sistemas no permiten establecer una completa gestión de la red, limitándose únicamente al monitoreo de alarmas y desempeño de la red.

Otra dificultad es que en algunos nodos de la red se tienen que interconectar los DDF's de los diferentes proveedores, lo que hace todavía más laborioso el trabajo manual al aumentar las distancias entre los puntos de

conexión y utilizar distintos tipos de cable y conectores.

### C. EVOLUCION DE LA RED METROPOLITANA HACIA LA SDH.

Hasta el momento se ha aceptado el hecho que la red metropolitana ha de evolucionar eventualmente hacia la SDH, pero no hay nada planeado en GUATEL. La apreciación de considerar esta evolución como un hecho es intuitivo basado en la tendencia mundial en el campo de las telecomunicaciones. Tomar la decisión de adquirir una red síncrona es riesgoso, ya que actualmente en Guatemala no se cuenta con ninguna experiencia en este campo, y en el resto del mundo ésta es escasa. De hecho, en estos momentos la situación de la red de transmisión en el área metropolitana no amerita alguna ampliación, ya que está dimensionada para transportar el tráfico telefónico generado durante los próximos diez años, aunque contará con algunas limitaciones en el campo de los servicios varios al usuario. Por lo tanto no se debe adquirir equipos síncronos en el corto plazo, ya que esto significa desperdiciar los pocos recursos con que cuenta el país.

Sin embargo, es inevitable que al largo plazo se empiece la migración hacia la red síncrona, por lo que hay que estar preparados para este proceso. La mejor manera de

planificar este proceso de evolución es adquirir experiencia en el mediano plazo con los equipos síncronos mediante una red paralela a la existente, a manera de prueba, donde se puedan explotar todas las ventajas que los fabricantes de dichos equipos ofrecen en el papel. Después de un período de prueba razonable, de alrededor de seis meses, se contará con elementos de juicio adecuados y determinantes para decidir finalmente sobre la conveniencia de migrar la red metropolitana hacia la SDH y la forma de lograrlo, que redundará en la preparación de un documento de normalización de equipos síncronos. Los principales aspectos a evaluar durante la prueba serían:

- Desempeño de las rutas de alta capacidad entre los nodos interurbanos y tránsito empleando mecanismos de autorrecuperación.
- Automatización de los cambios de enrutamiento de circuitos en los nodos que manejan la mayor cantidad de tráfico.
- Flexibilidad de las operaciones de inserción y extracción.
- Implementación de la infraestructura de transporte necesaria para la prestación de nuevos servicios en forma rápida y flexible.
- Problemas de incompatibilidad entre los diferentes

proveedores de equipos de telecomunicaciones.

- Simplificación de operaciones de mantenimiento de la red.
- Prestaciones dentro de la trama síncrona para dar soporte a la red de gestión.

A continuación, se emplean datos provenientes de las proyecciones elaboradas por la División de Planeamiento y Diseño de GUATEL en 1994, para presentar un plan que considera la evolución en el área metropolitana hacia la SDH en forma gradual. Dichas proyecciones consideran el tráfico generado hasta el año 2005.

Para empezar, se consideran las necesidades de circuitos de 2 Mbps entre las centrales telefónicas del área metropolitana en la Tabla 5.1. Luego, al agrupar las centrales en los edificios en los que se encuentran ubicados, se obtiene la cantidad de circuitos requeridos entre los nodos de transmisión de la red. Dichos datos se presentan en la tabla 5.2.

En la figura 5.5 se muestran las cantidades de circuitos necesarios entre las centrales interurbanas en forma gráfica junto con el futuro enrutamiento. Nótese que, físicamente, la red interurbana es una estrella con centro en Reformita. Esto se debe a que la interurbana de Torre de GUATEL no abre ruta directa a las interurbanas ubicadas en



Tabla 5.2  
Circuitos a 2 Mbps requeridos entre nodos

	CE	PA	LO	SR	TV	VH	VG	GV	TO	RE	EC	NJ	MV	NA
CE	56	14	167	23	62	10	21	44	8	10	23	9	22	7
PA		28	59	16	10	2	9	13	4	4	4	2	4	2
LO			86	65	91	2	6	123	5	5	2	2	51	1
SR				14	14	4	9	11	2	3	6	3	6	3
TV					194	59	144	171	10	14	19	10	70	8
VH						7	14	12	2	3	6	4	4	2
VG							43	21	5	8	6	4	6	4
GV								174	9	11	88	41	120	13
TO									0	0	3	2	7	2
RE										0	6	2	12	2
EC											10	6	17	4
NJ												2	6	3
MV													163	58
NA														6

Guarda Viejo, y que las interurbanas de occidente y de oriente poseen rutas físicas de transporte únicamente hacia Reformita.

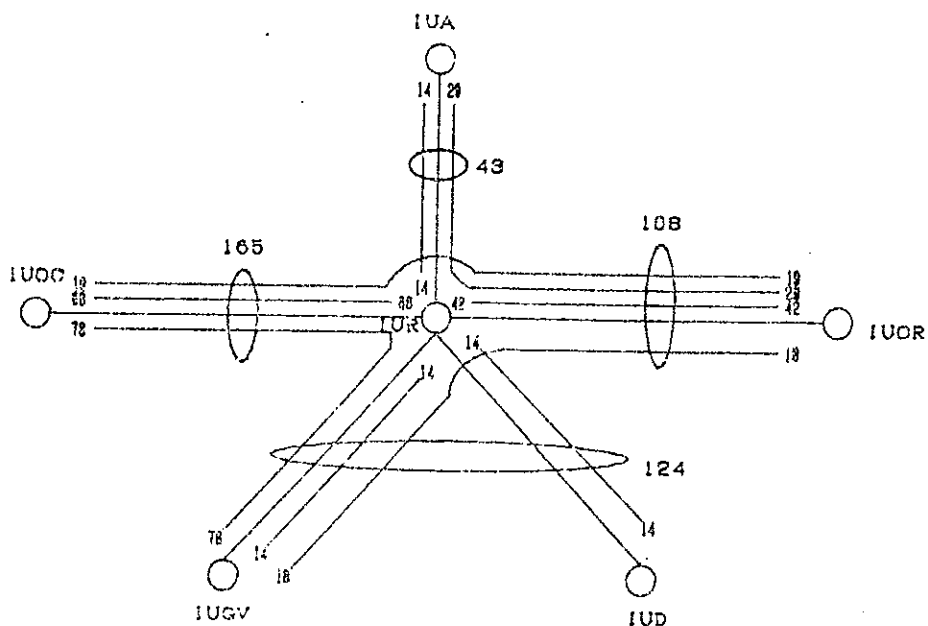


FIGURA 5.5

Se considera adquirir una red piloto a mediano plazo que transporte el tráfico interurbano y el tráfico entre centrales tránsito, ya que en esta parte de la red se requieren sistemas que proporcionen alta seguridad y brinden servicio a una gran cantidad de circuitos. El mecanismo legal para adquirir esta red debe contemplar que en principio se trata de algo temporal y que una adquisición definitiva es viable sólo si los resultados son satisfactorios. No se considera la parte del tráfico entre centrales internacionales, ya que éstas, según el diseño actual, no abren rutas entre sí, necesitando únicamente

enlaces punto a punto hacia las estaciones terrenas (Quetzal y Jezriél) y hacia Torre de GUATEL (que es por donde se interconectan a la Red Regional Centroamericana de Telecomunicaciones que opera sobre radios de microonda), por lo que no se aprovecharía la capacidad de autorrecuperación que los equipos síncronos prometen.

Al concluir el plan piloto inicial, si los resultados son satisfactorios, se podría reestructurar toda la red, ampliando la capacidad de transporte síncrono y utilizando topologías en forma de estrella en los demás nodos sirviéndose de enlaces existentes de 565 Mbps. Los equipos plesiócronicos que ya no fueran requeridos en el área metropolitana, podrían trasladarse al interior del país, o bien sacarse de servicio. Eventualmente se reemplazarían todos los enlaces plesiócronicos, llegando así a una red completamente síncrona en el área metropolitana. A continuación se detalla el proceso.

En la figura 5.6 se muestra un diagrama de enrutamiento que considera solamente el tráfico interurbano y tránsito. Se observa que por la magnitud de dicho tráfico, enlaces STM-4 (622 Mbps) serían suficientes para transportarlo, excepto el enlace TO-TV, en el que bastaría un STM-1 (155 Mbpps).

La integridad de la red se garantiza, ya que los enlaces STM-4 pueden transportar 252 circuitos de 2 Mbps,



cuenta con fibra óptica monomodo únicamente hacia Guarda Viejo, y canalizar nueva fibra hacia otro nodo por una ruta diferente sería muy costoso.

La gran ventaja de utilizar este esquema de protección distribuida basada en funciones de autorrecuperación, es que reduce la cantidad de fibras ópticas empleadas en los enlaces. Los enlaces plesiócronicos requieren cuatro fibras, mientras que con este esquema se emplearían únicamente dos fibras por enlace, ya que no precisan el uso de un terminal de línea y fibras ópticas extra para dedicarse únicamente a la función de protección.

Respecto del equipamiento, se considera que lo más adecuado sería colocar equipos de cross-conexión síncronos (SDXC) en Guarda Viejo, Tívoli y Reformita, ya que la cantidad de circuitos que manejan dichos nodos es bastante alta. Sólo en el contexto del presente proyecto, Guarda Viejo maneja casi 500 circuitos de 2 Mbps y cuatro rutas de alta capacidad, mientras que Tívoli y Reformita manejan alrededor de 300 circuitos de 2 Mbps y también cuatro rutas de alta capacidad. En cuanto a Lourdes y Torre de GUATEL equipos multiplexores de inserción/extracción serían suficientes, ya que la cantidad de circuitos que manejan no es tan alta. En este sentido, la limitación en cuanto a la cantidad de puertos (circuitos) manejables por un multiplexor síncrono no está en su capacidad de

procesamiento, sino que es una limitación mecánica debida al insuficiente espacio físico para acomodar una gran cantidad de tributarios. Los circuitos originados en Monte Verde se transportarían sobre un enlace plesiócrono de 565 Mbps hasta Guarda Viejo, en donde ingresarían al equipo de cross-conexión. Un aspecto importante a determinar al momento de adquirir la red piloto es sobre las interfaces adecuadas en los multiplexores síncronos. Por un lado, el uso de interfaces a 2 Mbps presenta mayor eficiencia en la explotación de la capacidad de transporte de los equipos síncronos, pero por otro lado, el uso de interfaces a 140 Mbps representa un ahorro en la cantidad de tarjetas de interface. En este último caso se estarían empleando equipos multiplexores plesiócronicos, por lo que sería necesario verificar la disponibilidad de los mismos en la red al momento de adquirir la red piloto. Se recomienda que, en principio, se contraten interfaces a 2 Mbps, ya que de esta forma se explota mejor la flexibilidad de la red, y no se dependería de la distribución del equipo plesiócrono en la red. En cualquier caso, se espera que las tarjetas de interface al usuario no representen un costo elevado en comparación con el resto del equipo.

Como resultado, en la primera etapa de la evolución se contaría con la red síncrona ilustrada en la figura 5.7 operando en forma paralela con la red plesiócrona de las

figuras 5.1 a 5.3.

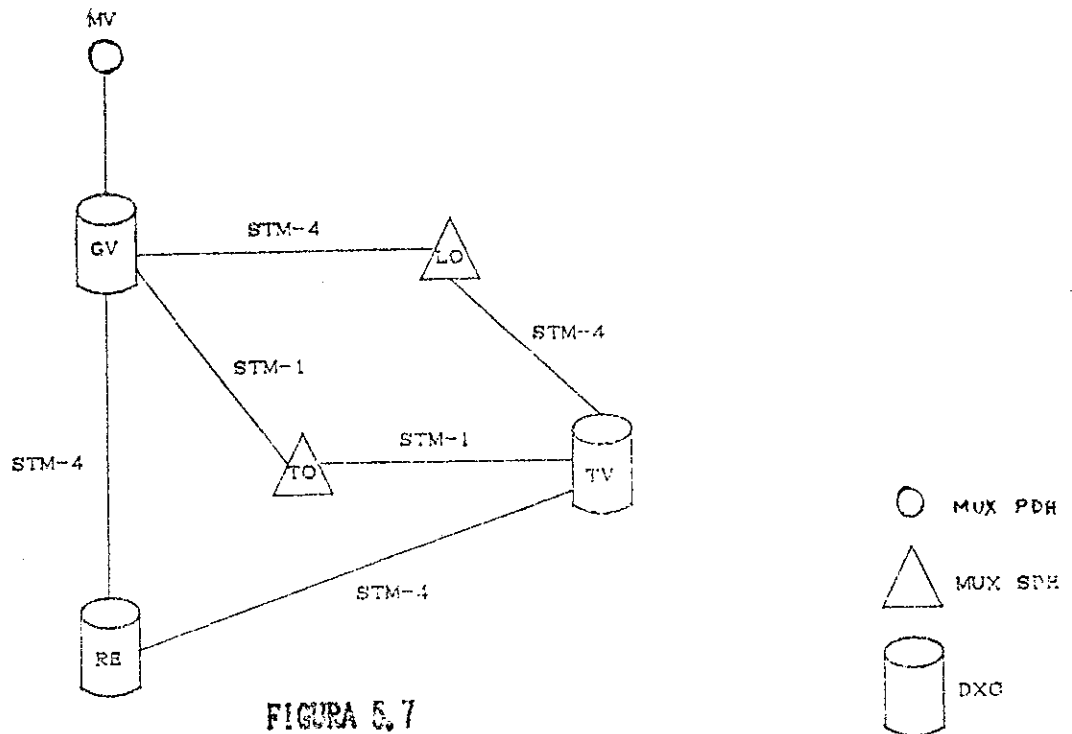


FIGURA 5.7

Un aspecto que no se ha discutido es que adquirir una red nueva, paralela a la existente, podría complicar las funciones de mantenimiento de la red, ya que estos nuevos equipos serían de tecnología diferente a la existente. Esto, si bien es cierto, también es inevitable, ya que tarde o temprano se producirá un fenómeno similar. En la actualidad, la red metropolitana es el producto de redes paralelas adquiridas de cuatro diferentes proveedores, lo que significa gastos extra en entrenamiento y personal, por

lo que este problema no debiera ser un impedimento.

Una vez terminado el período de prueba, se podría fácilmente incrementar la capacidad de transporte de la red de la figura 5.7, de tal forma que ésta lleve todo el tráfico que circula por esas rutas, eliminando los enlaces plesiócronicos que funcionan paralelamente a los síncronicos. Los otros enlaces se reorganizarían para que los nodos que no cuentan con enlaces síncronicos empleen enlaces de 565 Mbps para llegar a un nodo de tránsito que sí cuente con facilidades síncronicas, creando topologías de estrella como se muestra en la figura 5.8.

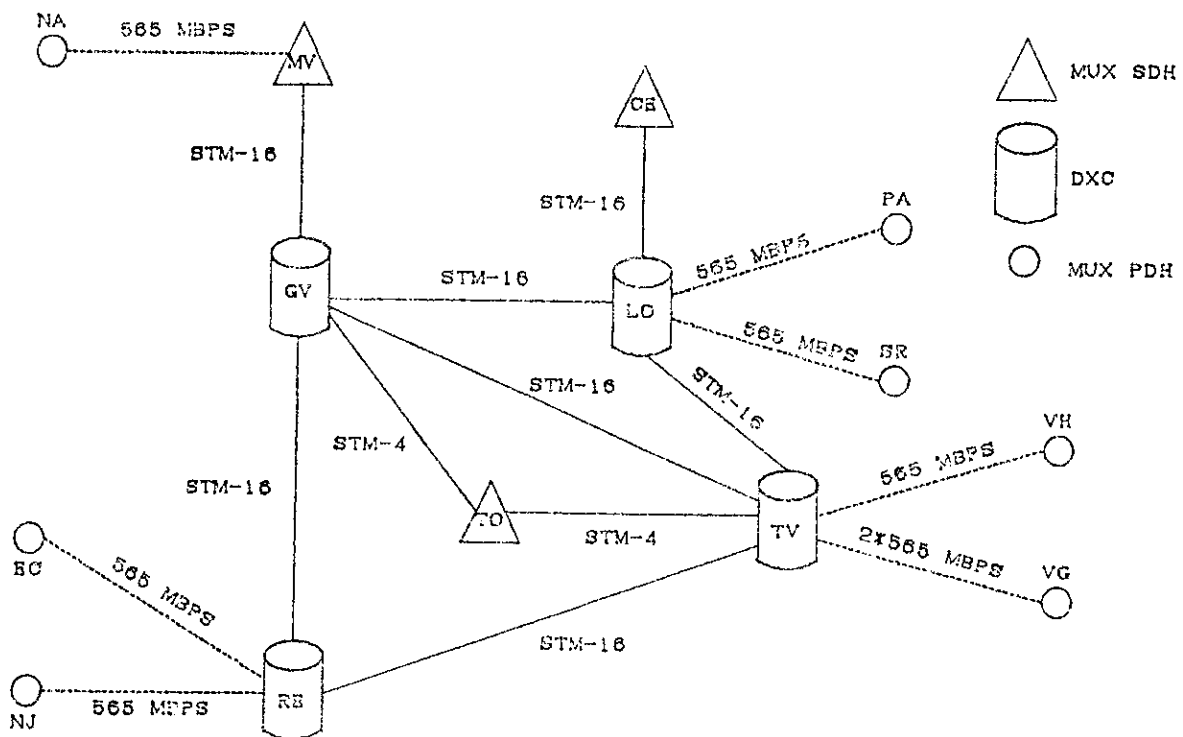


FIGURA 5.8

Se observa en esta figura, que debido a que la cantidad de puertos manejados en Lourdes aumenta considerablemente, se cree conveniente sustituir el multiplexor de inserción/extracción allí ubicado por un equipo de cross conexión, trasladando el multiplexor hacia el nodo Centro.

En esta segunda parte de la migración, el equipamiento a adquirir es el equipo de cross-conexión de Lourdes y el multiplexor síncrono de Monte Verde, lo demás es sólo aumentar la velocidad de línea de los enlaces síncronos al nivel STM-16 y reorganizar los enlaces plesiócronicos. Los 21 enlaces de 140 Mbps ya no se emplearían en la red troncal, por lo que podrían ser trasladados al interior del país, o bien, ser empleados para enlazar unidades remotas. De los 22 enlaces existentes de 565 Mbps, se requerirían únicamente 8, lo que permitiría trasladar 14 enlaces hacia rutas de alto uso que lo requieran, probablemente las rutas hacia las interurbanas de oriente y occidente. En cuanto a la red de 34 Mbps, ésta sería retirada de servicio, ya que en este momento no sería útil y no sería posible trasladarlos ya que operan sobre fibra óptica multimodo y además contarían con bastantes años en servicio. Los beneficios de esta reorganización de enlaces plesiócronicos radican en el hecho que permiten, además de una gran cantidad de traslados, simplificar en gran medida las labores de mantenimiento al contar con una red mucho más sencilla, de menor cantidad de

elementos, aunque de mayor capacidad.

Eventualmente, los enlaces de 565 Mbps saldrían de servicio y se obtendrían enlaces síncronos, por lo que la red podría llegar a lo que muestra la figura 5.9.

En cuanto a la estandarización de la SDH, una gran parte se encuentra ya especificada en las recomendaciones del CCITT. Sin embargo, algunos aspectos todavía se encuentran en discusión, por lo que es muy importante tratar de definirlos en forma general al momento de adquirir los equipos síncronos que formarán la red piloto para evitar incompatibilidades futuras. La mayoría de estos aspectos

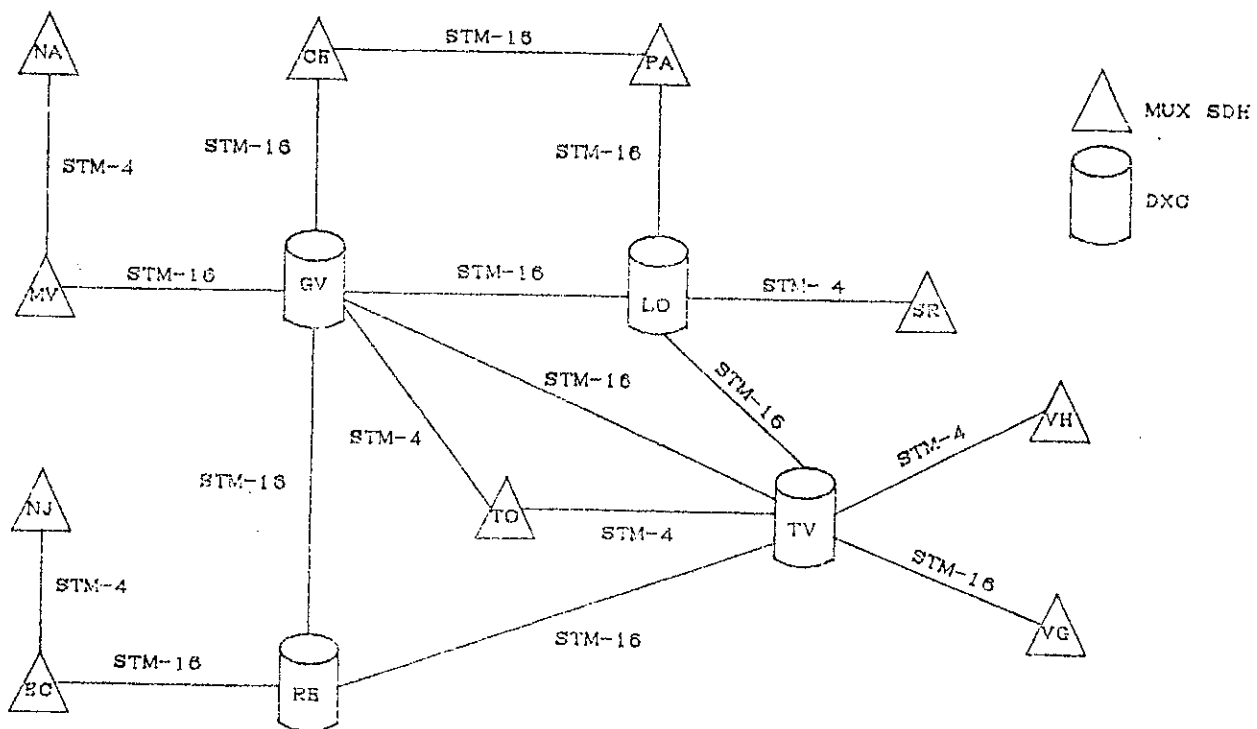


FIGURA 5.9

están relacionados con la gestión de la red y funciones específicas de algunos bytes de las taras de sección y trayecto. Los bytes de uso nacional deben ser estrictamente reservados para el uso de GUATEL y aunque en un principio no se empleen todos, se debe tener acceso a ellos. Un posible uso de estos bytes podría estar relacionado con las funciones de sincronización de la red, pero no será hasta completado el proyecto piloto que se podrá contar con un juego de especificaciones técnicas que cubra todos estos aspectos de acuerdo a la conveniencia de GUATEL.

Finalmente es necesario considerar que la introducción de la Jerarquía Digital Síncrona en la Red Metropolitana implica cambios en la forma tradicional de realizar el mantenimiento y la ampliación de servicios prestados a los clientes. Por ello es necesario preparar una política adecuada de capacitación del personal técnico, ya que la SDH dependerá mucho más del software y tendrá un mejor control sobre el desempeño de la red. Además, es necesaria una reestructuración administrativa en forma gradual, debido a que se contará con una mayor gama de servicios de alta calidad al cliente, y el tiempo en que estos sean instalados podrá ser muy reducido en el aspecto técnico, por lo que el procedimiento administrativo debe responder con rapidez a la demanda.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A pesar que la Jerarquía Digital Plesiócroma es sumamente inflexible por cuanto fue creada para transportar circuitos puramente telefónicos, posee la ventaja de haber sido desarrollada durante muchos años y ser en la actualidad una técnica bastante madura y de amplio uso en todo el mundo.

En principio, la Jerarquía Digital Síncrona ha sido concebida para solventar las limitaciones que se encontraron en la PDH con el correr del tiempo, principalmente en cuanto a sus capacidades de inserción y extracción y transporte de la red de gestión dentro de la trama. Por las características propias de la red de conmutación en el ambiente de la red metropolitana de telecomunicaciones de Guatemala, los equipos síncronos se desempeñarían mejor que los plesiócromos.

En el presente momento no se debe introducir la SDH en la red metropolitana, ya que las necesidades de transporte de circuitos están satisfechas, según las proyecciones de GUATEL, hasta el año 2005. Su introducción bajo esta condición significaría adquirir algo que no es necesario, o sea desperdiciar los limitados recursos del país.

Sin embargo, la necesidad de brindar rutas de alta

protección, de automatizar el enrutamiento de circuitos y de facilitar la introducción de nuevos servicios, llevarán, junto con la necesidad de ampliar la red de transmisión, a la adquisición de equipos síncronos en el largo plazo (probablemente menos de diez años). Entonces, es necesario prepararse para este momento, ya que la evolución hacia la SDH debe darse en forma pausada y planificada. Se recomienda adquirir experiencia en el campo de las redes síncronas mediante planes piloto en calidad de prueba, como el expuesto en la sección 5.3, previo a la adquisición definitiva de equipos. El fruto de esta experiencia previa será la preparación de las especificaciones técnicas adecuadas que permitan a GUATEL adquirir el equipo que más se ajuste a sus necesidades.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Allmis, S. "Implementing a flexible synchronous network". IEEE communications magazine (USA); 1993 31 (9): 52-55.
- Ash J. and P. von Schau. "Communication networks of the future". Telecom report international (Germany); 15 (6): 5-8.
- Ash, J. "SDH development accelerates". 1992 Telecommunications (USA); 8 (11): 26-30.
- Arquitectura de las redes de transporte basadas en la SDH. 1993 Buenos Aires, Telefónica de Argentina. 44 pp.
- Avery, R. Strategies for synchronization in an evolving telecommunications network. 1992 England. Telecom Solutions. 5 pp.
- Baudron, J.; A Khadr y F. Kocsis. "Disponibilidad y supervivencia de las redes SDH". 1993 Comunicaciones eléctricas (España); 5 (4): 339-348.
- Cepeda, I. SDH. México, D. F., Wandel & Goltermann, 1992 S. A. de C. V. 28 pp.
- Ching, Y. and H. Sabit. "SONET implementation". IEEE communications magazine (USA); 31 (9): 34-40.
- González, O.; M. Sexton y C. Tardini. "Planificación y gestión de redes SDH". 1993 Comunicaciones eléctricas (España); 5 (4): 366-377.
- Hemsworth A. and M. Matthews. "The case for early deployment of SDH" (USA); 8 (11): 21-24.
- Klein, M. and R. Urbansky. "Network synchronization - a challenge for SDH/SONET?". 1993 IEEE communications magazine (USA); 31 (9): 42-50.
- Kustra, R. La SDH en el ambiente AHCJET. Argentina, 1993 Telecom-Argentina. 21 pp.

- Métodos de restauración en la jerarquía digital  
1993 síncrona. Buenos Aires, Telefónica de Argentina. 24 pp.
- Network synchronization charecterization. USA, Telecom Solutions; application note 417. 4 pp.
- Powell, W.; R. Cubbage, J. Ferrant y M. Wolf.  
1993 "Sincronización y temporización SDH". Comunicaciones eléctricas (España); 5 (4): 349-358.
- Sexton, M; M. Roverano y F De Crémiers. "Arquitectura y normas SDH". Comunicaciones eléctricas (España); 5 (4): 299-309.
- Sincronización en telecomunicaciones. México D.F., 1994 Wandel & Woltermann, S.A. de C.V. 24 pp.
- Synchronous transmission systems. 3rd. edition.  
1992 United Kingdom, Northern Telecom Europe Limited. 112 pp.
- Visintini, G. "The key to flexibility in transmission networks". Telecom report international (Germany); 15 (2): 38-41.
- Wu, T. and R. Lau. "A class of self-healing ring architectures for SONET applications". IEEE transactions on communications (USA); 40 (11): 1746-1756.

## APENDICE A

### Trama de 8,448 Kbps con justificación positiva

La figura A.1 muestra la ubicación de los bits dentro de la señal de 8 Mbps.

Los bits 1, 2, 3 y 4 son control de los bits de relleno S1, S2, S3 y S4. Si los bits 1a, 1b y 1c contienen todos unos, entonces el bit S1 lleva información, mientras que todos ceros indica que S1 contiene relleno. El proceso de justificación es independiente para cada tributario (1, 2, 3 o 4) y en caso de no haber unanimidad en el contenido de los bits de control, la decisión se realiza por mayoría.

Nótese que la velocidad máxima de justificación es de 10 Kbps por tributario, y que la relación normal de justificación es de 0.424.

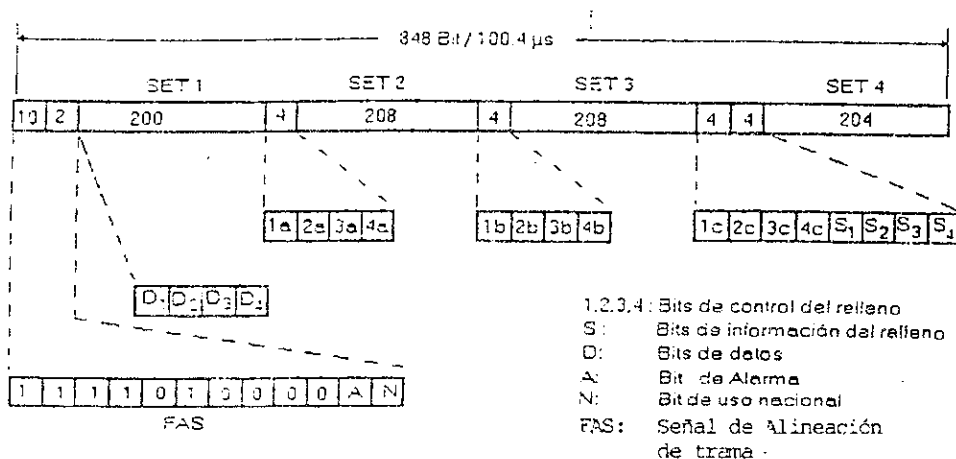


FIGURA A.1



## APENDICE B

### Estructura de multiplexación síncrona

Tal y como se discutió con anterioridad, los sistemas de transmisión plesiócronicos permiten ligeras variaciones en la velocidad de los tributarios. Sin embargo, en los sistemas síncronicos esto no es necesario, ya que todos los equipos están sincronizados a un reloj maestro.

La velocidad básica de transmisión de la SDH es 155,520 Mbps, que corresponde a una trama STM-1. Dicha trama consiste de 2430 bytes con una duración de 125 useg.

Los bytes se encuentran estructurados en 270 columnas x 9 filas, como se muestra en la figura B.1. Las primeras nueve columnas forman la Tara de Sección (SOH), con excepción de la cuarta fila, mientras que las restantes 261 columnas forman el área de carga útil.

La SDH acepta tributarios de los diferentes niveles definidos en la PDH. Las señales de 2Mbps son multiplexadas en un solo paso. Además, en orden a alcanzar compatibilidad con equipo no síncrono, las recomendaciones de la SDH definen varias formas de subdividir el área de carga útil para que pueda cargar diferentes combinaciones de tributarios, ya sean síncronicos o asíncronicos (ver figura 3.1). Usando este método los sistemas de transmisión

síncronos pueden acomodar señales generadas por equipos en diferentes niveles de la PDH.

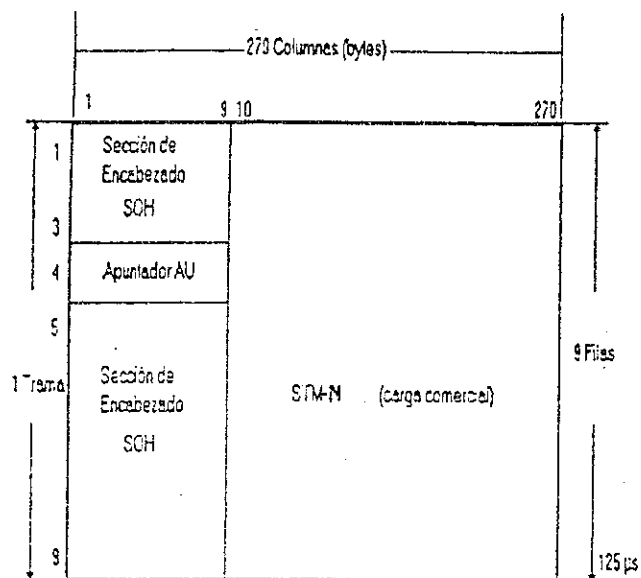


FIGURA B.1

### 1. TRAMA STM-1

Como se ve en la figura B.1, la trama STM-1 se puede dividir en tres áreas:

1. Area de Carga Util
2. Area de Punteros
3. Area de la Tara de Sección

#### a. Area de Carga Util:

Esta es el área que contiene a los tributarios que han

sido empaquetados para su transporte en la Red Síncrona.

Los tributarios plesiócronicos son mapeados en el contenedor apropiado y luego una Tara de Trayecto (POH) es agregada para formar el Contenedor Virtual (VC). El POH contiene información acerca del control de un trayecto síncrono. A continuación se describen los dos tipos de POH asociados a los diferentes tipos de VC.

i. Tara de Trayecto de VC-1/VC-2:

Este POH utiliza cuatro bytes del VC y son conocidos como V5, J2, Z6 y Z7. Las funciones de estos bytes se describen a continuación (ver figura B.2).

- V5: Este es el primer byte de la multitrama y su posición es indicada por el puntero TU-1/TU-2. Provee funciones de chequeo de errores, etiquetamiento de señales y estatus del trayecto.
- J2: Transmite un identificador de punto de acceso de trayecto de orden bajo.
- Z6: Se encuentra bajo consideración para proveer monitoreo de concección tandem.
- Z7: Está reservado para posterior estudio.

La ubicación de los bytes J2, Z6 y Z7 es provisional hasta este momento.

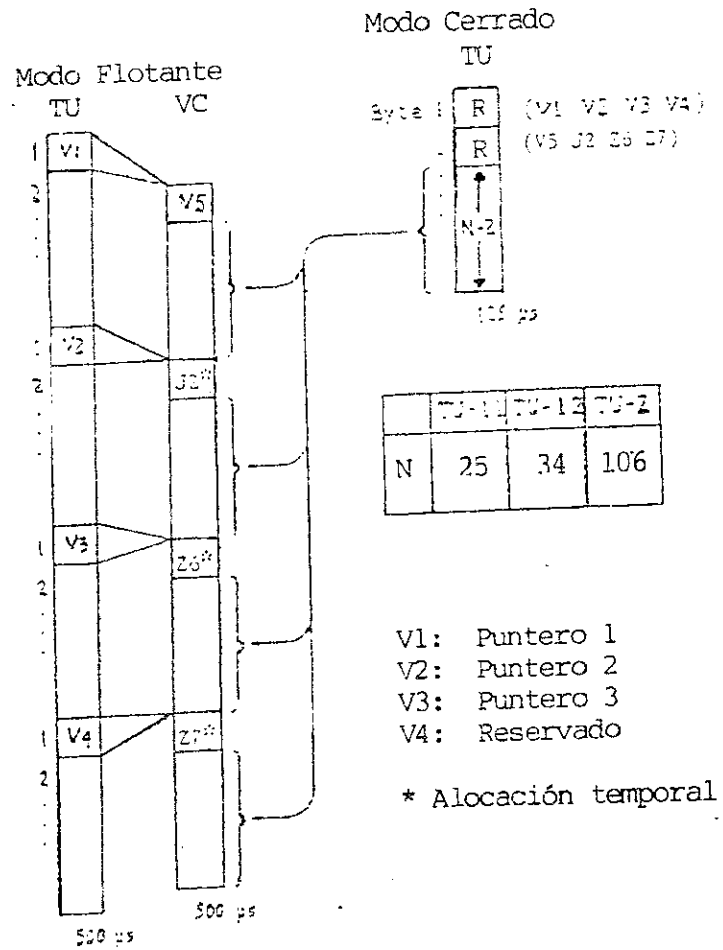


FIGURA B.2.

ii. Tara de Trayecto de VC-3/VC-4:

Esta consta de nueve bytes, como se muestra en la figura B.3. A continuación se describe cada uno de ellos.

J1: Traza de Trayecto. Verifica la conexión del trayecto del VC.

B3: BIP-8. Provee de un monitoreo de la tasa de error en el trayecto mediante el código de paridad par BIP-8.

- C2: Etiqueta de Señal. Indica la composición de la carga del VC.
- G1: Estatus del Trayecto. Permite que el estatus de la señal recibida sea devuelto al extremo transmisor del trayecto.
- F2: Canal de Usuario del Trayecto. Provee un canal de comunicación al usuario.
- H4: Indicador de Multitrama. Para usos de indicación de multitrama.
- Z3-Z5: Bytes de uso nacional.

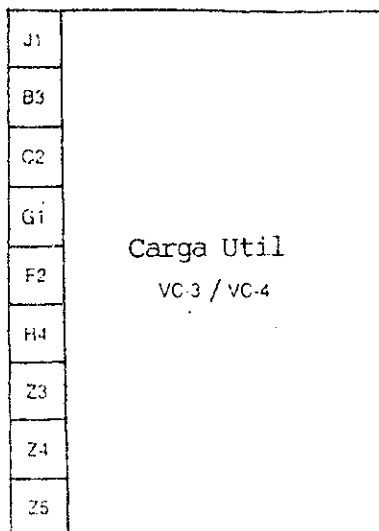


FIGURA B.3

**b. Area de Punteros:**

Después de que el POH es agregado al contenedor para formar un VC, se le asocia un puntero. La estructura resultante se conoce como Unidad Tributaria (TU) si ha de ser colocada en un VC de mayor orden, o como Unidad Administrativa (AU) si ha de ser colocada directamente en el área de carga útil del STM-N.

Los TU's que se agrupan en posiciones fijas para formar un VC de mayor orden reciben el nombre de Grupo de Unidades Tributarias (TUG), mientras que las AU's que se agrupan en posiciones fijas para formar la carga útil del STM-N reciben el nombre de Grupo de Unidades Administrativas (AUG).

En la figura 3.1 se pueden observar los diferentes tipos de TU, TUG, AU y AUG que es posible formar. Nótese que el uso del AU-4 es específico del estándar SDH y no se encuentra contemplado en SONET; asimismo, el estándar europeo de SDH, no contempla el uso de AU-3 que es típico de SONET.

Los punteros de AU-4, AU-3 y TU-3 consisten de tres bytes, H1, H2 y H3 (el puntero de AU-4 utiliza tres bytes H3). H1 y H2 indican la posición relativa de inicio del VC con respecto al byte H3 y además indican de que tipo de puntero se trata, existencia de concatenación, puntero nulo (que se utiliza con los TUG, para diferenciar de los VC) y control de justificación. El byte H3 se utiliza en la

justificación negativa, mientras que el siguiente bytes después del H3 se utiliza en la justificación positiva.

En la justificación negativa, el byte H3, que normalmente contiene relleno, contendrá información útil del VC. Como consecuencia, en la próxima trama el VC empezará un byte antes, actualizandose el valor del puntero (en el caso del AU-4 el puntero varía en tres unidades, mientras que para AU-3 y TU-3 el puntero varía sólo una unidad). Es importante notar que la variación del puntero se debe a que el tamaño del VC no se altera, sino sólo la posición de su inicio dentro de la trama.

Para la justificación positiva, el procedimiento es similar, sólo que el byte siguiente al H3, que normalmente contine información contendrá relleno, por lo que en la próxima trama el VC iniciará un byte después.

El procedimiento de la justificación negativa se ilustra en la figura B.4 para un VC-4 (es igual para el AU-3 y el TU-3, sólo que éstos disponen de sólo un byte H3). El procedimiento de ajuste de punteros o justificación podrá realizarse únicamente después de que el puntero haya conservado el mismo valor durante tres tramas.

Los punteros de TU-1 y TU-2 consisten de tres bytes conocidos como V1, V2 y V3 (ver figura B.2) cuyas funciones son iguales que las de H1, H2 y H3.

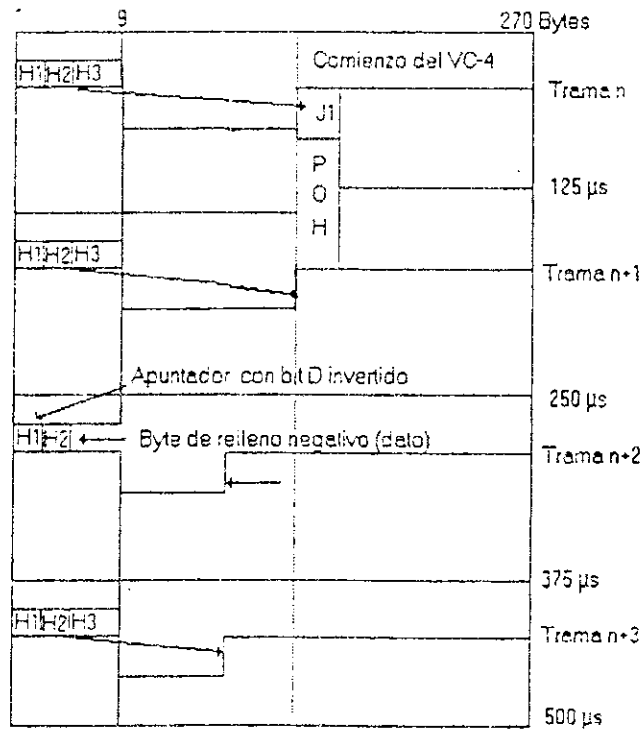


FIGURA B.4

Estos ajustes en los punteros son posibles cuando ocurren pequeñas diferencias de frecuencia y fase como resultado de variaciones en los retardos de propagación. Esto permite a la carga deslizarse en el tiempo en forma relativa dentro de la trama STM-1 en la cual está contenida.

El resultado es que en cualquier cadena de datos es posible identificar canales tributarios individuales y realizar operaciones de inserción y extracción, superando entonces uno de los mayores impedimentos de la PDH.

c. Area de la Tara de Sección:

Los bytes de la Tara de Sección (SOH) son utilizados para comunicación entre piezas adyacentes de equipo síncrono. Además de ser utilizados en la sincronización de la trama, realizan funciones de Gestión de la Red. El propósito de los bytes definidos hasta el momento se detalla a continuación (ver figura B.5).

- A1,A2: Alineación de Trama.
- B1,B2: Se utilizan en el chequeo de paridad para la detección de errores. B1 utiliza un código BIP-8, mientras que B2 utiliza un código BIP-24.
- C1: Identifica a un STM-1 en una trama STM-N.
- D1-D12: Canales de comunicación de datos utilizados para la Gestión de la Red.
- E1,E2: Canales de comunicación vocales.
- F1: Canal de usuario.
- K1,K2: Canal utilizado por la Conmutación por Protección Automática (APS).
- M1: Indica el conteo de los bloques encontrados erróneos por el BIP-24 (B2).
- S1: Utilizado para indicar el status de la sincronización.
- Z1,Z2: Reservados para uso nacional.

El SOH se divide en dos partes: RSOH y MSOH. El RSOH comprende de las filas uno a tres y es accesible para todas las estaciones, tanto terminales como regeneradores. El MSOH comprende de las filas cinco a nueve y es accesado sólo en las estaciones terminales.

Bytes	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	A1	A1	A1	A2	A2	A2	C1		
2	B1			E1*			F1*		
3	D1*			D2*			D3*		
4	Reserva								
5	B2	B2	E2	K1*			K2*		
6	D4*			D5*			D6*		
7	D7*			D8*			D9*		
8	D10*			D11*			D12*		
9	Z1	Z1	Z1	Z2	Z2	Z2	E2*		

STM-1 SOH

FIGURA B.5

## 2. MULTIPLEXACION:

Un simple estudio de la multiplexación síncrona revela que la estructura de mapeo ofrece un gran número de opciones para combinar diferentes tipos de contenedores. En orden a establecer una ruta de mapeo común, la ETSI acordó no utilizar la estructura AU-3, sino que únicamente la AU-4.

A continuación se detalla la forma en la que se realizan los mapeos involucrados en esta opción.

**a. Mapeo de señales de 2 Mbps en un VC-12:**

La SDH ofrece tres diferentes opciones para realizar el mapeo de las señales de 2 Mbps en un VC-12:

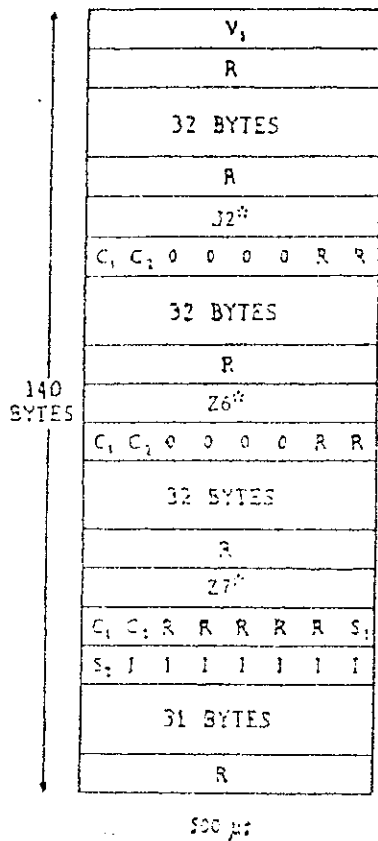
1. 2048 Kbps asíncrono: permite una carga de 2 Mbps, pero sin la posibilidad de observar bits individuales.
2. 2048 Kbps con sincronía en bits: permite observar bits individuales, pero sin la identificación de tramas.
3. 2048 Kbps con sincronía en bytes: permite observar todos los bits contenidos en la señal, identificando tramas.

**i. Mapeo asíncrono de señales de 2048 Kbps:**

Este mapeo se realiza de la forma mostrada en la figura B.6, sobre un período de 500 useg.

En adición al POH, compuesto por los bytes V5, J2, Z6 y Z7, el VC-12 consiste de 1023 bits de datos, seis bits de control de justificación, dos oportunidades de justificación y ocho canales de comunicación de tara (que corresponden a los ocho bits 0, cuyo uso está reservado para propósitos

futuros). Los restantes son bits de relleno fijo.



- I: bit de información
- O: encabezamiento
- C: control de justificación
- S: oportunidad de justificación
- R: Relleno fijo
- \*: asignación provisional

FIGURA B.6

ii. Mapeo Síncrono por Bits de Señales de 2048 Kbps:

La figura B.7 muestra la forma en la que este tipo de mapeo se realiza.

En esta figura se muestran dos posibilidades: operación en modo flotante y operación en modo cerrado.

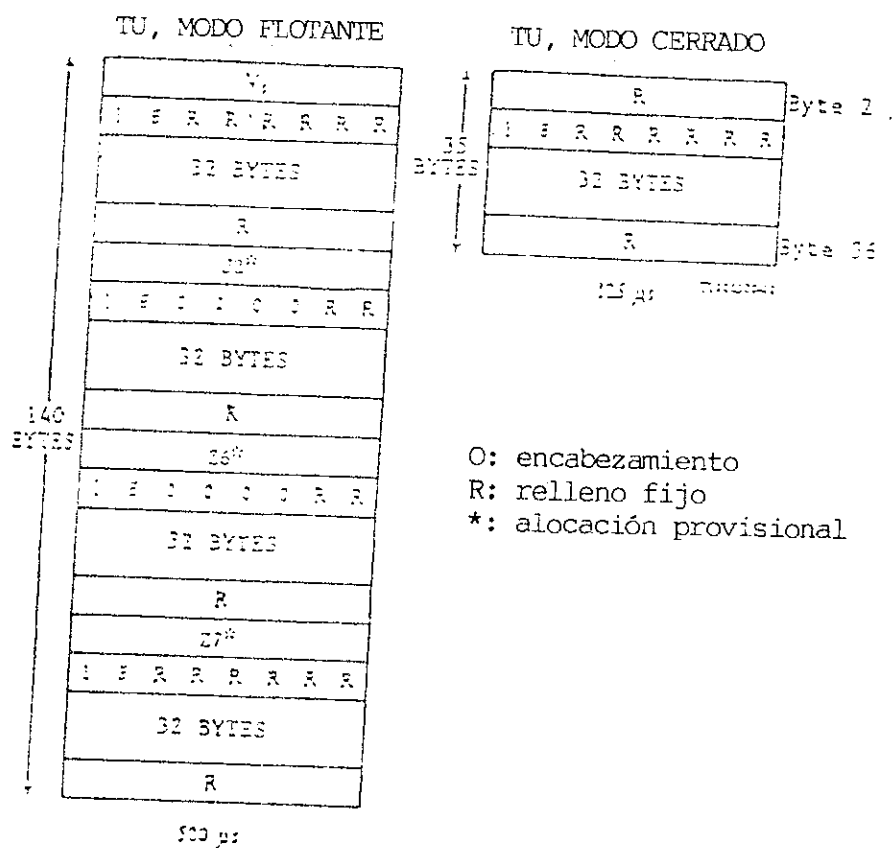


FIGURA B.7

En el modo flotante, cuatro tramas consecutivas VC-n ( $n=11, 12, 2$ ) de 125 useg son organizadas en una multitrama de 500 useg cuya fase es indicada por el byte H4 en el POH del VC-m ( $m=3,4$ ). Esta multitrama de 500 useg del TU se muestra en la figura B.2.

El modo cerrado de transporte es un mapeo fijo de estructuras síncronas en un VC-m. Esto provee una correspondencia directa entre la información tributaria y su

localización dentro del VC-m. Además, como la información es fija y localizable inmediatamente con respecto al puntero AU-m asociado con el VC-m, no se necesita ningún puntero para la TU. Entonces, todos los bytes en la TU o TUG están disponibles para uso de la carga.

### iii. Mapeo Síncrono por Bytes de Señales de 2048 Kbps:

El proceso llevado a cabo en este mapeo se muestra en la figura B.8. Se trata de una señal de 2048 Kbps que contiene 30 canales empleando Señalización Asociada al Canal (CAS). La señalización se realiza en los bytes 19, 54, 89 y 124 en el modo flotante, y en el byte 19 en el modo cerrado.

Cuando se mapea una señal que contiene 31 canales de 64 Kbps en lugar de 30, el canal 16 ocupa la posición que correspondería al canal de señalización, mientras que los canales 17 a 31 ocupan las posiciones de los canales 16 a 30.

### b. Mapeo de VC-12 en TUG-2:

En la figura B.2 se puede apreciar como un VC-12 se convierte en un TU-12 al agregar el puntero respectivo (bytes V1, V2 y V3). Luego, en la figura B.9 se muestra como mediante asignación fija de bytes, tres TU-12 se intercalan para formar un TUG-2.

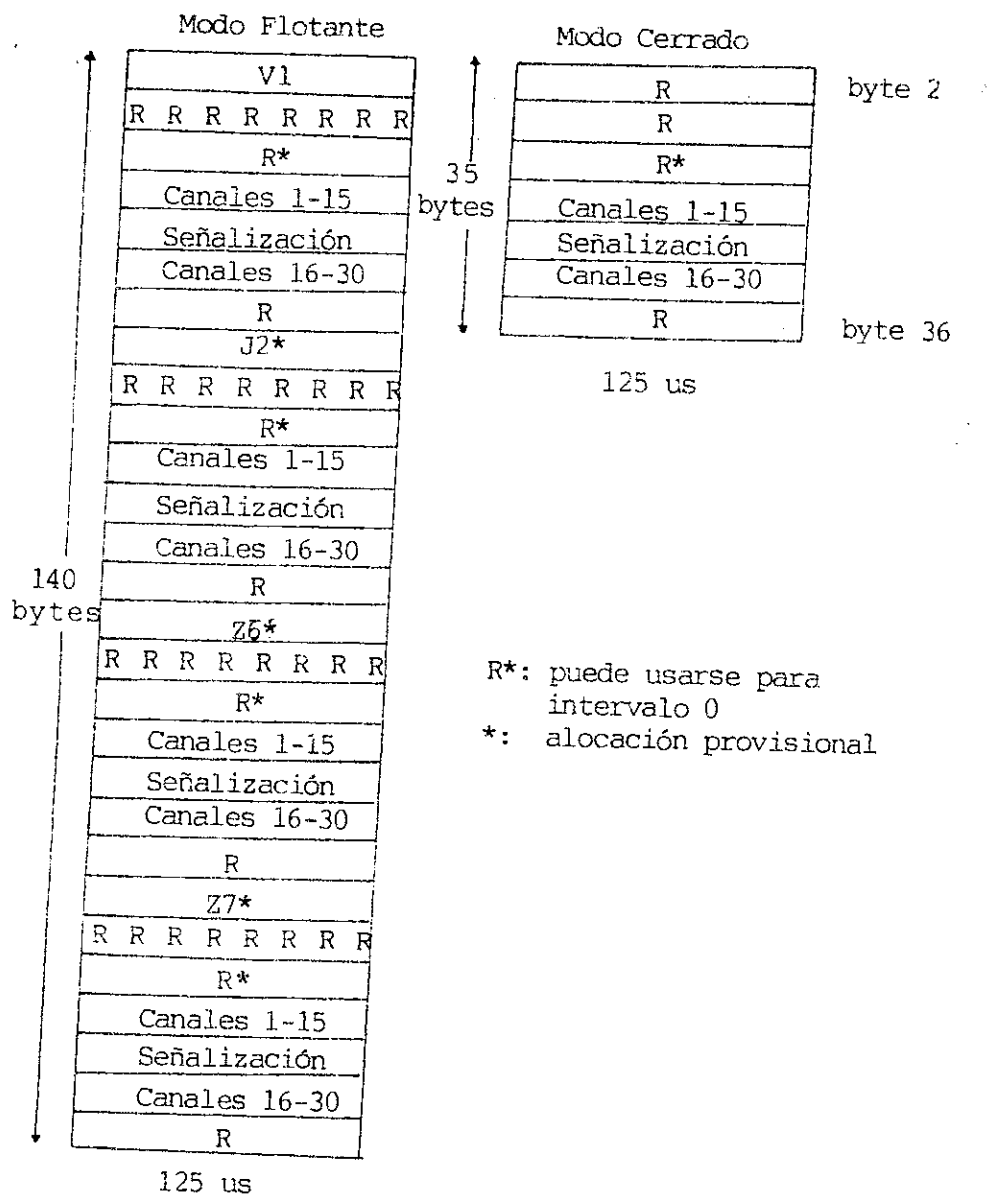


FIGURA B.8

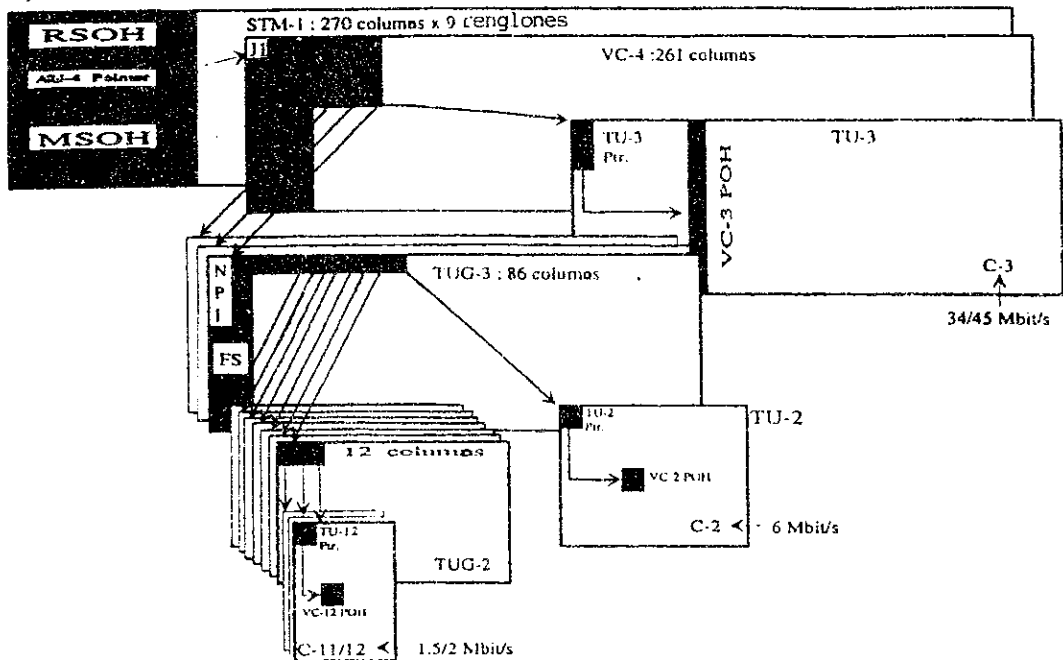


FIGURA B.9

### c. Mapeo de TUG-2 en TUG-3:

La figura B.9 también muestra como mediante asignación fija de bytes, siete TUG-2 se intercalan para formar un TUG-3.

La estructura TUG-3 se utiliza además para soportar señales a 34 Mbps y 45 Mbps mediante un TU-3. Un TU-3 consta de un VC-3 y su puntero.

La indicación de puntero nulo (NPI) se utiliza para indicar que el TUG-3 está compuesto por TUG-2's en lugar de un TU-3.

d. Mapeo de TUG-3 en VC-4:

Este mapeo también se realiza mediante asignación fija e intercalado de bytes, tal como se muestra en la figura B.9. La primera columna del VC-4 contiene al POH, mientras que las columnas dos y tres son rellenos fijos.

El VC-4 se puede utilizar también para transportar señales de 140 Mbps. Para diferenciar ámbas posibilidades del contenido del VC-4, se utiliza la NPI en el caso de los TUG-3.

e. Mapeo de VC-4 en STM-1:

El mapeo de un VC-4 en un STM-1 sigue un proceso similar al mapeo de un VC-12 en un TUG-2. El VC-4 puede flotar dentro de la trama, siendo su posición indicada por el puntero AU-4, que consiste de los bytes H1, H2, y H3. Esto se ilustra en la figura B.9.

f. Velocidades de Transmisión más Altas (STM-N):

Como las señales a ser multiplexadas a este nivel son síncronas, la operación se logra mediante intercalado simple de bytes. Como ejemplo, la figura B.10 muestra la formación de una señal STM-16 a partir de tributarios STM-4 y STM-1.

Es importante notar que la tarea del multiplexor síncrono, en este caso, no se limita a tomar bytes de los tributarios STM-N y luego intercalarlos para formar el STM-M, sino que al recibir cada tributario procesa la información contenida en el SOH. Este procesamiento de información implica monitoreo de errores, acceso a canales de datos de la Red de Gestión, operaciones de protección de rutas, etc. y además ajustes en los punteros de AU si fuese necesario. Una vez hecho esto, se cuenta con nuevas señales STM-N provenientes originalmente de los tributarios que serán fáciles de intercalar ya que han sido generadas en el

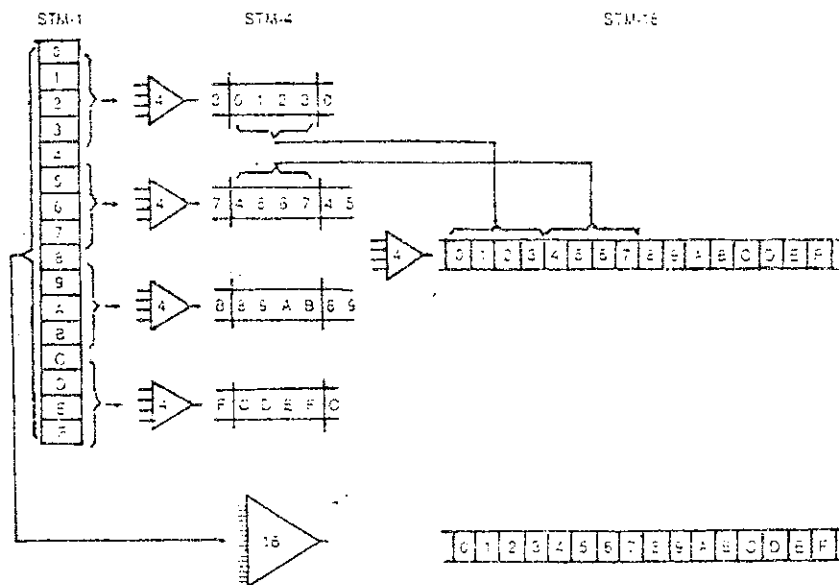


FIGURA B.10

mismo multiplexor (i.e. son completamente síncronas entre sí). Esto elimina cualquier tipo de problema asociado a diferencias de fase y frecuencia (jitter y wander) que pudiera presentarse ya que los tributarios STM-N pueden provenir de equipos diferentes.



## APENDICE C

## Listado de Abreviaturas

ANSI	Instituto nacional americano de estandarización.
APS	Conmutación automática de protección.
ATM	Modo de transferencia asíncrono.
AU	Unidad administrativa.
AUG	Grupo de unidades administrativas.
BIP	Paridad de bits intercalados.
B-ISDN	Red digital de servicios integrados de banda ancha.
B-SHR	Anillo autorrecuperable bidireccional.
CAS	Señalización asociada al canal.
CCIR	Comité consultivo internacional de radiocomunicaciones.
CCITT	Comité consultivo internacional de telefonía y telegrafía.
CE	Centro.
C-N	Contenedor de orden N.
DDF	Marco de distribución digital.
DXC	Cross-conector digital.
EC	El Carmen.
ETSI	Instituto europeo de estandarización de telecomunicaciones.
FAS	Señal de alineación de trama.

FDDI	Interfaz de datos distribuidos sobre fibra óptica.
FDM	Multiplexación por división en frecuencia.
GV	Guarda Viejo.
HDTV	Televisión de alta resolución.
IUA	Interurbana analógica.
IUD	Interurbana digital.
IUGV	Interurbana Guarda Viejo.
IUOC	Interurbana de occidente.
IUOR	Interurbana de oriente.
ICCF	Foro de compatibilidad de la industria.
IFU	Unidad de interface.
LAN	Red de área local.
LO	Lourdes
LTE	Equipo terminal de línea.
MAN	Red de área metropolitana.
MSOH	Tara de sección de múltiplex.
MV	Monte Verde.
NA	El Naranjo.
NJ	Nimajuyú.
NNI	Interfaz de nodo de red.
NPI	Indicación de puntero nulo.
OAM	Operación, administración y mantenimiento.
OLTU	Unidad terminal de línea óptica.
PA	Parroquia.
PCM	Modulación por impulsos codificados.

PDH	Jerarquía digital plesiócrona.
POH	Tara de trayecto.
RE	Reformita.
RSOH	Tara de sección de regeneración.
SDH	Jerarquía digital síncrona.
SDXC	Cross-conector digital síncrono.
SHR	Anillo autorrecuperable.
SOH	Tara de sección.
SONET	Red óptica síncrona.
SR	San Rafael.
STM-N	Módulo de transporte síncrono de orden N.
TCM	Modulación por codificación Trellis.
TDM	Multiplexación por división en el tiempo.
TMN	Red de gestión de telecomunicaciones.
TO	Torre de Guatel.
TU	Unidad tributaria.
TUG	Grupo de unidades tributarias.
TV	Tívoli.
UHF	Frecuencias ultraaltas.
U-SHR	Anillo autorrecuperable unidireccional.
VC-N	Contenedor virtual de orden N.
VH	Vista Hermosa.
VHF	Frecuencias muy altas.
VG	Villa de Guadalupe.
XPIC	Cancelador de interferencia por polarización

cruzada.

