

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

SONET/SDH

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALEJANDRO GUILLERMO MENDOZA LEIVA

ASESORADO POR: ING. EVEREST DARWIN MEDINILLA RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Jorge Luis Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Raymound Theodore Usher Palacios
EXAMINADOR	Ing. Jorge Leonel Villeda Lemus
SECRETARIO	Ing. Francisco González Duarte

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

SONET/SDH,

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas con fecha 24 de febrero de 2004.

Alejandro Guillermo Mendoza Leiva

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. INTRODUCCION A SONET.....	1
1.1 Sistemas de Computación Cliente Servidor.....	1
1.2 Multimedia.....	12
1.3 Redes De Banda Ancha.....	15
1.4 Ancho de banda y Retraso.....	21
1.5 Breve Historia De Las Comunicaciones.....	27
1.6 Una Historia Reciente De Las Comunicaciones De Datos.....	35
2. SONET ARQUITECTURA Y PROTOCOLOS.....	41
2.1 Velocidades SONET.....	42
2.2 Distinción STS/OC.....	50
2.3 Estructura de Esquema STS-1.....	53
2.3.1 Overheads de Línea y Sección.....	57
2.3.2 Capacidad de Sobre Sincrónico.....	58
2.3.3 Sobre de Carga util Sincrónica.....	58
2.3.4 Mapeo SPE dentro de un esquema STS-1.....	60
2.3.5 Niveles de Arquitectura SONET.....	65

2.3.6 Overheads SONET.....	74
2.3.7 Overhead de Sección.....	75
2.3.8 Overheads de Línea.....	80
2.4 Apuntadors de Carga util SONET.....	95
2.5 Cargas utiles de Super Velocidad en SONET.....	98
2.6 SPEs STS-3.....	101
2.7 SPE STS-3c (OC-3c).....	103
2.8 Cargas utiles de velocidades más bajas.....	100
2.8.1 Tributarios Virtuales.....	109
2.8.2 Super esquema VT.....	114
2.8.3 Modo Bloqueado y Flotante VT.....	118
3. SONET SINCRONIZACIÓN Y TIEMPOS.....	121
3.1 Sincronización de Red.....	121
3.2 Reloj Plesiocrónico.....	141
3.3 Múltiplexación Sincrónica SONET.....	144
3.4 Sincronizando una red SONET.....	145
3.5 Beneficios del manejo de tiempo SONET.....	151
3.6 ¿Por qué SONET necesita apuntadores?.....	152
4. REDES SONET.....	157
4.1 Sistemas de Carrier Pre-Sonet.....	157
4.2 Sistemas de Carrier SONET.....	163
4.3 SONET en Acción.....	166
4.4 SONET y ATM.....	171
4.5 Componentes SONET.....	176

5. SONET SERVICIO Y UTILIZACIÓN.....	185
5.1 Ethernet Gigabit SONET/SDH, DWDM, y Fibra.....	185
5.1.1 La función de SONET.....	188
5.1.2 Red de vías electrónicas T-carrier.....	190
5.1.3 Red de acceso de T-carrier.....	192
5.1.4 Red de Circuitos SONET.....	194
5.1.5 Red Regional SONET.....	196
5.1.6 Red de larga distancia SONET.....	198
5.1.7 Red de Acceso SONET	200
5.1.8 Arreglos de Acceso SONET.....	204
5.1.9 Anillos SONET Privados.....	205
5.1.10 Fibra SONET en Acción.....	209
5.1.10.1 “Railblazers”.....	210
5.1.10.2 La flotilla AT&T.....	211
5.1.10.3 Cable de Arado.....	212
5.2 Aplicaciones SONET: ATM.....	213
5.3 Aplicaciones SONET: Interconexión LAN.....	218
5.4 Aplicaciones SONET: Video y Graficas	220
5.5 Aplicaciones SONET: Cinema del Futuro.....	226
CONCLUSIONES.....	229
RECOMENDACIONES.....	233
BIBLIOGRAFÍA.....	235

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Medida de Retrasos en una red.....	22
2.	Medida de Ancho de Banda en una red.....	22
3.	Relación entre retardos en Banda Ancha y Ancho de banda.....	27
4.	Comunicación de Datos “Rueda de la Reencarnación”	29
5.	Overhead Sonet/SDH.....	50
6.	Distinción STS/OC.....	52
7.	Estructura de Esquema STS-1 SONET.....	55
8.	Estructura de esquema SONET/SDH (no a escala).....	61
9.	Esquema de estructuras de algunos niveles comunes de SONET.....	63
10.	Arquitectura de Capas Sonet.....	66
11.	Jerarquía Overhead SONET.....	72
12.	Overhead de Sección.....	75
13.	Overheads de línea de SONET.....	81
14.	Camino Overhead SONET.....	90
15.	SONET Overhead.....	96
16.	Dos relojes igualmente exactos con diferencia de fase.....	98
17.	SONET Cargas Útiles de súper velocidad.....	101
18.	Estructura de esquema STS-3.....	104
19.	Estructura de esquema STS-3c (OC-3c).....	103

20.	Cargas útiles de velocidades mas bajas.....	109
21.	SONET con Cargas útiles VT.....	111
22.	Una Red Simple Tcarrier.....	124
23.	Tiempo Circular en un enlace T-1.....	127
24.	Tiempo corrido causado por la vibración de reloj.....	128
25.	Una red T-1 más compleja.....	131
26.	Estratos de reloj.....	137
27.	Tiempo Plesiocrónico.....	143
28.	Sonet Multiplexor Sincrono.....	144
29.	Sincronizando una Red SONET.....	148
30.	La estructura de BITS.....	149
31.	¿Por qué SONET necesita apuntadores?.....	154
32.	Sistema Pre-Carrier SONET.....	159
33.	Sistemas de Carrier SONET.....	164
34.	SONET en acción.....	167
35.	¿Porque? Y ¿Como? Sonet y ATM están relacionados.....	175
36.	Mayores Componentes SONET.....	176
37.	SONET ADM Y TM.....	182
38.	Una Típica Red de vías electrónicas T-carrier.....	179
39.	Una Típica red de acceso T-carrier.....	181
40.	Una red de circuitos electrónicos SONET.....	182
41.	Una Red Regional SONET.....	184
42.	Una Red de Larga Distancia SONET.....	186
43.	Una red de acceso SONET.....	188
44.	Arreglos de acceso SONET.....	191
45.	SONET Como transporte ATM.....	202

46.	Anillos SONET para Ínter conectividad LAN.....	197
47.	Cinema del Futuro.....	205

TABLAS

I.	Jerarquía Digital SONET.....	43
II.	Capacidad virtual del tributario.....	113
III.	Comparación de Overhead STS-1 y VT.....	118
IV.	Aplicaciones con Necesidad de mas Ancho de Banda para usuarios de Idea Factory Survey.....	189

GLOSARIO

Ancho de banda

Cantidad de bits que pueden viajar por el medio físico, cable coaxial, par trenzado, fibra óptica, etc. Cuanto mayor es el ancho de banda con más rapidez se transfiere la información. Se

mide, normalmente, en bits por segundo (bps) o en alguno de sus múltiplos, dependiendo del tipo de conexión.

Aplicación

Software que realiza una función útil. Los programas que se utilizan para realizar alguna función, como correo electrónico, FTP, etc., son las aplicaciones cliente.

Archivos de dominio Público

Son los archivos que se pueden obtener de *Internet* y que han sido puestos a disposición de los usuarios por entidades, programadores, etc.

ASCII

Código estándar de conjunto de caracteres que cualquier computadora puede entender, usado para representar las letras latinas, en mayúsculas, minúsculas, números, puntuación, etc.

ATM

Modo de Transmisión Asíncrona. Sistema de transmisión de datos usado en banda ancha para aprovechar al máximo la capacidad de una línea. Se trata de un sistema de conmutación de paquetes que soporta velocidades de hasta 1.2 Gbps.

Bases Distribuidas

Bases de datos que se pueden encontrar en distintas localizaciones geográficas y que se presentan ante el usuario como una base de datos única. Un ejemplo de ello es el DNS, *Domain Name Service*, en que se basa *Internet*, donde las direcciones de las computadoras se encuentran en diversas computadoras, cada una encargada de un dominio, y que se presentan ante el usuario como una base de datos única con todos los dominios del planeta.

Dirección electrónica

Dirección de un usuario en *Internet*. Por medio de ella es posible enviar correo electrónico a un usuario. Esta es única para cada usuario y se compone por el identificativo *-login-* de un usuario, el símbolo arroba, @, y el nombre del servidor de correo electrónico o dominio al que pertenece ese usuario, por ejemplo:

usuario@computadora.dominio.com, o
usuario@dominio.com.

DNS Acrónimo de *Domain Name System* -Sistema de Nombres de Dominio-. Sistema para traducir los nombres de las computadoras en direcciones IP numéricas, y viceversa.

DVD *Digital Video Disk*. Nuevo estándar en dispositivos de almacenamiento masivo con formato de *CD* pero que llega a 14 GB de capacidad.

Ethernet Tipo de red de área local desarrollada en forma conjunta por Xerox, Intel y Digital Equipment, que se ha convertido en un estándar. Es compatible con distintos medios físicos y con distintas topologías de red. El ancho de banda ha evolucionado desde los 10 Mbps originales hasta 100 Mbps -*Fast Ethernet*- y

1000 Mbps -Gigabit Ethernet-, incluyendo compatibilidad hacia atrás.

FDDI

Interfase de datos distribuidos por fibra. Un estándar para transmitir datos por cable de fibra óptica a la velocidad de alrededor 100 millones de bits por segundo - 10 veces + rápido que Ethernet y doce veces más rápido que T-3 -.

Fibra óptica

Medio físico formado por la combinación de vidrio y materiales plásticos. A diferencia del cable coaxial y del par trenzado, no se apoya en los impulsos eléctricos, sino que transmite por medio de impulsos luminosos. Su uso es, cada vez, más generalizado, debido al continuo abaratamiento de los costes y al gran ancho de banda que es capaz de conseguir.

GUI

Acrónimo de *Graphical User Interface* - Interface Gráfico de Usuario -. Colección gráfica de iconos, carpetas, escritorio, cajas de diálogo, etc. que se activan o desactivan por medio del ratón. En definitiva, se llama, así, a todo programa o aplicación que se ejecuta en un entorno gráfico, y, cuya interfase es gráfica.

Hipermedia	Combinación de texto y multimedia. Actualmente es un recurso ampliamente explotado en el <i>World Wide Web</i> .
Hipertexto	Cualquier texto que contiene enlaces a otros documentos. Determinadas palabras o frases en el documento, -que están unidas a otro documento o parte del mismo mediante un enlace-, al ser activadas, normalmente, mediante un clic del ratón, provocan la recuperación y posterior visualización del documento enlazado.
Host	Red local, computadora que realiza todas las funciones de mantenimiento centralizadas, y pone a disposición de otros usuarios los programas y otros servicios. En <i>Internet</i> , se llama así a una computadora conectada a la red que tiene su propio IP y dominio, y que sirve información a través de WWW.
HTML	Es el lenguaje con que se escriben los documentos en el <i>World Wide Web</i> .
Internet	La gran colección de redes interconectadas que usan protocolo TCP/IP y que evolucionó de ARPANET a finales de los 60 y principios de los 70. <i>Internet</i> conecta hoy por hoy a 60.000 redes

independientes dentro de la red mundial global.

Intranet

Se llaman así a las redes tipo *Internet*, pero que son de uso interno, por ejemplo, la red corporativa de una empresa que utiliza protocolo TCP/IP y servicios similares como WWW.

IP

Protocolo de *Internet*. Es la parte del protocolo TCP/IP encargada del direccionamiento, - identificación del origen y destino-. Ver Dirección IP.

IPX

Intercambio de Paquetes entre Redes. Inicialmente protocolo de *Novell* para el intercambio de información entre aplicaciones en una red *Netware*.

Kilobyte

Mil *bytes*. Actualmente, es usado como 1024, dos elevado a la 10, *bytes*.

LAN

Red de computadoras limitada a un área inmediata, que es, normalmente, el mismo edificio o piso de un edificio, pero que puede llegar a extenderse hasta varios kilómetros. Para distancias mayores se suele emplear mejor el término *WAN*.

Motor de búsqueda	Herramienta que realiza búsquedas en sus propias bases de datos desde la computadora cliente. También, llamados buscadores, estas aplicaciones son muy útiles para navegar por <i>Internet</i> , pues nos indican dónde encontrar la información necesaria, pudiendo ir a ese lugar mediante un enlace.
Nodo	Cualquier computadora conectada a una red.
POP	Acrónimo de <i>Post Office Protocol</i> , Protocolo de Oficina de Correo. Protocolo para almacenar y recibir correo electrónico. Algunos programas de correo electrónico usan este protocolo, como Eudora.
PPP	Acrónimo de Protocolo de Punto por Punto. Es más conocido como el protocolo que permite que una computadora use una línea telefónica regular y un módem para realizar conexiones TCP/IP.
Proveedor de servicio	Empresa que proporciona acceso a <i>Internet</i> , o a servicios de correo electrónico, FTP, <i>Gopher</i> , etc., por medio de una tarifa mensual.
Protocolo	Sistema de reglas o estándares para comunicarse a través de una red, en especial a través de <i>Internet</i> . Los equipos y las redes

interactúan de acuerdo con los protocolos que determinan el comportamiento que cada lado espera del otro en la transferencia de información.

Puente

Se le conoce al enlace que puede haber entre dos redes LAN.

RDSI (ISDN)

Red digital de servicios integrados (ISDN). Una red que actúa como un servicio de conexión digital para los teléfonos y otros dispositivos de comunicación. Una conexión RDSI puede proporcionar una velocidad de acceso a *Internet* relativamente alta (hasta 128000 bits por segundo, usando las líneas telefónicas existentes, o sea, un par de hilos de cobre).

Recurso

Objeto de datos de red o servicio que puede identificarse por un URI. Se llama así a la información que se encuentra en *Internet*, ofrecida por los servidores.

Red

Grupo de computadoras y otros dispositivos periféricos conectados unos a otros para

comunicarse y transmitir datos entre ellos.

Router

Encaminador. Computadora con fines especiales, o paquete de *software*, que maneja la conexión entre dos o más redes. Los routers usan su tiempo mirando las direcciones de destino de los paquetes, pasando a través de ellas y decidiendo a qué ruta enviarles.

TCP/IP

Es el tipo de protocolos que define la *Internet*. Diseñado originalmente por el sistema operativo *UNIX*, el *software* TCP/IP está disponible para la mayor parte de los sistemas operativos. Para acceder a *Internet*, la computadora debe tener *software* TCP/IP.

Terminal

Dispositivo que permite enviar comandos a una computadora que se encuentra en otro lugar. Esto significa una ventana de visualización y un teclado.

UNIX

Sistema operativo multiusuario y multitarea que soporta TCP/IP nativo. Es el sistema operativo

más común para servidores en *Internet*.

URL

Acrónimo de *Uniform Resource Locator*.

-Localizador de Recursos Uniforme-. Es el modo estándar de proporcionar la dirección de cualquier recurso en *Internet*, que es parte de la WWW. Las URLs pueden ser absolutas o relativas. Una URL absoluta consiste en un prefijo que denota un método -"http" para servidores Web, "Gopher" para *Gophers*, "ftp" para transferencia de ficheros, etc.- seguido por dos puntos y dos barras (://) una dirección, que consiste en un nombre de dominio, seguido por una barra, un nombre de vía, y un ancla opcional, precedido por un símbolo * que apunta a un lugar dentro de una página Web. Una URL relativa designa un elemento relativo en el que la designación se hace. Es similar a dar el número de teléfono sin el prefijo de provincia para llamar desde la misma ciudad.

WAN

-Red de Área Extendida-. Una red que cubre un área más grande que un sólo edificio.

WAIS

Acrónimo de *Wide Area Information Servers*

-Servidores de Información de Área Extendida- Paquete de *software* comercial que permite

indexar grandes cantidades de información y hacer que esos índices puedan buscarse a través de *Internet*. Una característica primordial de WAIS es que los resultados de búsqueda están medidos, de acuerdo a lo relevantes que son y otras búsquedas subsiguientes.

Web

Abreviatura de World Wide Web.

WWW

Acrónimo de *World Wide Web*, tela de araña mundial. Se denomina así al gran universo de recursos a los que se puede acceder usando *Gopher*, FTP, HTTP, *Telnet*, *Usenet*, *WAIS* y otras herramientas. Es el universo de servidores HTTP que permiten mezclar texto, gráficos, archivos de sonido, etc. juntos.

RESUMEN

La innovación es la línea de vida para sobrevivir en el mercado de las telecomunicaciones; ha estimulado la industria de las

telecomunicaciones para adoptar la Nueva Generación de SONET/SDH como la solución más económica y, tecnológicamente, confiable para transmitir Voz y Datos en redes de transporte. Mientras la demanda de ancho de banda se incrementa, o, el equipo se torne obsoleto en las redes, los proveedores de servicios comprarán equipo de Nueva Generación SONET/SDH para ahorrar costos iniciales, gastos a largo plazo, energía y espacio. La nueva generación SONET/SDH es un término sombrilla que describe un rango de desarrollos basados en estándares y propietarios que están construidos en la infraestructura disponible SONET/SDH. Desplegado, en primer lugar, por operadores de larga distancia como una forma para soportar nuevos servicios tales como *Ethernet*, *Fiber Channel*, *ESCON* y DVB, la nueva generación SONET/SDH permite la entrega de datos con alta velocidad y muy alto ancho de banda aún con presupuestos muy limitados.

OBJETIVOS

- **General**

Comprender el funcionamiento de la arquitectura y protocolos de la red sincrónica SONET. Familiarizarse con los distintos

servicios ofrecidos por SONET e introducirse en los protocolos utilizados, así como los equipos de banda ancha.

- **Específicos**

1. Mostrar las ventajas de utilización SONET que proporciona la transmisión digital de alta velocidad a través de fibra óptica.
2. Presentar los conceptos que definen a Sonet como un interfaz óptico que permite la interconexión con otros equipos.
3. Mostrar a SONET como una tecnología mas madura que cuenta con estándares muy detallados que hacen de ella una tecnología de fácil utilización.
4. Mostrar que una red sincrona SONET es capaz de incrementar sensiblemente el ancho de banda disponible y reducir el número equipos de red sobre el mismo soporte físico que otro tipo de tecnologías.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la rápida demanda de acceso a la información y, en especial, el aumento del tráfico de *Internet*, ha hecho que se prestara especial atención y esfuerzo al desarrollo de las redes de comunicaciones de gran capacidad y anchura de banda.

Estas nuevas redes han de proporcionar un acceso rápido y fiable a diversos tipos de tráfico con características bien diferenciadas: voz, vídeo, tráfico de datos, para conseguirlo, se han ido implementando redes con diversos protocolos. El estándar ATM -*Asynchronous Transfer Mode*- fue el escogido por la UIT-T, Unión Internacional de Telecomunicaciones- Sector de Estandarización de Telecomunicaciones, como el protocolo de transmisión para las redes digitales de servicios integrados de banda ancha (RDSIBA), debido a la calidad de servicio que garantiza. Por otro lado, y gracias a su simplicidad, el protocolo IP -*Internet Protocol*-, utilizado como estándar de tráfico de datos en *Internet*, ha experimentado un enorme crecimiento. También, se han desarrollado fórmulas para tratar de conjugar ambos estándares, con soluciones que incluyen la transmisión de IP sobre ATM. Además de estos protocolos asíncronos, las jerarquías síncrona (JDS) y plesiócrona (JDP) siguen soportando un gran volumen del tráfico en las redes actuales. El resultado es la aparición de una gran cantidad de redes distintas e incompatibles entre sí. Se espera que el crecimiento del tráfico de datos continúe en los próximos años.

La gran anchura de banda potencial que ofrece la fibra óptica la hace idónea para absorber este aumento de tráfico sustituyendo al cable de cobre.

Por lo que el uso de [sistema](#) de transmisión de [fibra óptica](#) ha crecido. En lo que se refiere a aplicaciones de corta y larga distancias lo cual depende de la implementación de la [red](#) . La red crece en tamaño y en la capacidad que transporta.

El crecimiento exponencial de [Internet](#) ha acumulado la [demanda](#) dramática para ancho de banda mayor en área ancha conectada a [una red](#) de [computadoras](#) -*WANs*-.

La infraestructura subyacente proporcionada por portadores es la red [óptica](#) sincrónica -SONET- o la jerarquía digital sincrónica (SDH) que desplegó encima de la fibra del área ancha, se une el [interés](#) ya crecido ejecutando el [IP](#), directamente, encima de SONET. Por lo, anteriormente, mencionado se estructuran de la siguiente forma los puntos a tratar para SONET: introducción a los [conceptos](#) de Sonet y una breve historia, arquitectura y protocolos , sincronización y tiempos , redes SONET, y por ultimo servicio y utilización SONET que permitirá obtener una [información](#) sustanciosa clara y explícita de los usos respecto del tema tratado.

1. INTRODUCCIÓN A SONET

1.1 Sistemas de Computación Cliente Servidor

El segundo desarrollo en los sistemas de computación de red que se volvió una fuerza líder detrás de las necesidades de ancho de banda de

las redes es la popularidad de los sistemas de computación cliente-servidor. El termino sistemas de computación distribuido está estrechamente ligado al concepto de sistemas de computación cliente-servidor. De hecho, el uso de sistemas de computación cliente-servidor es a veces visto como la primera razón para construir las redes distribuidas. Si no parece haber razón aparente del por que esto debería ser así, es sin duda cierto que hasta el levantamiento de los sistemas de computación cliente-servidor era poca justificación para una organización en pasar el esfuerzo y gasto de construir una red distribuida. Este punto necesita más discusión.

Una forma fácil de definir un cliente es como sigue: cualquier dispositivo de computación en un escritorio con una persona sentada enfrente haciendo un trabajo es un cliente. No hay diferencia si el dispositivo es una terminal en una red SNA -SNA es la Arquitectura de Red de Sistema de IBM- una PC o una *LAN*, o una estación de trabajo *UNIX* en una red TCP/IP. Todos estos son dispositivos cliente.

Los servidores son fácilmente definibles también: cualquier dispositivo de computación sin una persona sentada enfrente haciendo un trabajo es un servidor. Otra vez, no hay diferencia si el dispositivo es una computadora central IBM, un servidor *Windows*, o un servidor de archivos *Novell Netware*: todos estos son ejemplos de servidores. Los servidores no tienen “trabajadores” enfrente de ellos, pero tienen al menos uno, y quizá muchos, administradores que hacen que el servidor este disponible para una comunidad de clientes.

Estas definiciones pueden verse simplistas, pero son extremadamente poderosas en explicar la relación de los sistemas de computación cliente-servidor y redes distribuidas, y también de la necesidad de ancho de banda de gran área. Una vez que las definiciones básicas son entendidas, otros términos entran al juego.

Por ejemplo, los términos sistema de computación cliente-servidor o arquitectura cliente-servidor describen esta práctica general de ver todos los dispositivos de computación ya sea como clientes o servidores, o incluso ambos a la vez en algunos casos. Las aplicaciones cliente-servidor están específicamente diseñadas para correr en un ambiente cliente-servidor con una porción cliente y una porción servidor en la aplicación, y así sucesivamente.

El término procesamiento distribuido es a veces usado en una forma sinónima con este modelo cliente-servidor para reconocer la separación geográfica usual de clientes y servidores.

La relación de este modelo de computación cliente-servidor y redes distribuidas es ahora fácil de entender. Los clientes se adjuntan a los servidores en las redes. Sin embargo, sin una red no existiría una forma fácil para que los clientes lleguen al servidor que necesitan. Por lo tanto, es necesario que la red habilite a cada cliente para tener acceso a cada servidor en la organización. El concepto cliente-servidor es tan importante para las redes que los puntos clave son listados a continuación:

1. Clientes son dispositivos de escritorio con trabajadores
2. Servidores son dispositivos con administradores
3. Los clientes y los servidores son conectados por redes
4. Cualquier cliente debería ser capaz de adjuntarse a cualquier servidor
5. Las redes permiten que esto pase

Por supuesto, todo esto se amarra con el crecimiento de poderosos dispositivos de escritorio discutidos previamente. El proceso comenzó en los 1980s con la introducción de la PC en muchas organizaciones para reemplazar los dispositivos terminales “obsoletos” que los trabajadores habían usado antes para tener acceso a aplicaciones en computadoras centrales y mini computadoras remotas.

Para 1986, la novedosa PC era poderosa como la computadora central IBM en 1979. Muchas organizaciones se apresuraron a aprovechar algo de este poder de computación.

En lugar de tener dos o tres terminales en cada ubicación de empleado, las organizaciones podían tener una PC simple corriendo emulaciones de terminal SNA conectadas a la computadora central corporativa, emulación VT100 conectadas a la mini computadora departamental, y también conectarse directamente al servidor de archivos local. De hecho, con el levantamiento de los sistemas operativos multitarea, tales como *Microsoft's Windows* y *UNIX*, estas PCs fueron capaces de hacer todo al mismo tiempo.

Pronto se volvió suficientemente común vincular todas estas PCs con *LANs* y todas las *LANs* con *routers* (dirección adores), y todos los *routers* con líneas privadas rentadas punto-a-punto. El ancho de banda entre los *routers* era de solo una fracción del ancho de banda en la *LAN*, 64 Kbps en la *WAN* comparado a los 10 Mbps en *Ethernet*) en muchos casos, pero la naturaleza intermitente de la mayoría de tráfico de datos hizo de esta una solución viable, al menos a corto plazo.

A largo plazo, esto fue un problema. Cuando los clientes y servidores se hicieron más numerosos y poderosos, el ancho de banda disponible entre los *routers* se volvió más escaso y presiono a la red hasta el límite.

Las organizaciones con muchas PCs pusieron todo en *LANs* con *routers*, incluyendo dispositivos SND y terminales especializadas.

Esto llevo a instalar más ancho de banda entre los *routers* para evitar cuellos de botella. Sin embargo, pocos proveedores de servicio tenían mucho por encima de 1.544 Mbps para venderles a los usuarios, y nada por encima de 45 Mbps, incluso para aquellos que podían pagarlo. Pocos ejemplos de aplicaciones típicas distribuidas usadas por organizaciones hoy en día deberían enfatizar el hecho de que el ancho banda *WAN* no es adecuado para muchas aplicaciones hoy en día.

Apegándose con la definición de cliente como una computadora de escritorio y servidor como una computadora “detrás de la oficina”, hay

numerosos ejemplos de aplicaciones distribuidas en uso común hoy en día. La mayoría de aplicaciones de base de datos son ahora usadas en una forma de multicapas. Los archivos de base de datos pueden ser inmensos y representan, en algunos casos, el registro completo de las actividades de negocios de una organización de pasado a presente, estos archivos pueden residir en un número de servidores.

Estos servidores de base de datos no tienen que estar concentrados en una ubicación simple, por supuesto, pero pueden estar distribuidos entre muchas ubicaciones que están geográficamente dispersas. El *software* del cliente de la base de datos es usado para tener acceso a la información guardada en estos servidores.

Las aplicaciones de base de datos ahora necesitan ser instaladas y usadas en esta forma cliente-servidor. Instalar dichos paquetes de base de datos lleva por *default* esta configuración: cliente y servidor: en la mayoría de los casos el *software* no está envuelto solo en una forma separada, sino que viene en diferentes paquetes y cajas. Algunos parámetros de instalación y configuración deben cambiarse para no correr el *software* en una forma cliente-servidor distribuida, sino para instalar y correr la base de datos y “motor de preguntas”, la porción del cliente, en la misma computadora.

Otra aplicación que se ha vuelto común en muchas organizaciones y que ha llevado las capacidades de las redes al límite es el correo electrónico *-e-mail-* simple y el uso incrementado de tecnología de servicios *Web*. El *e-mail* ha evolucionado de simple texto a mensajes que incluyen porciones de voz y video. No es inusual hoy en día que grandes corporaciones generen cerca de 300,000 mensajes de e-mail por día para posiciones y empleados clave. Todos estos mensajes deben ser distribuidos en las redes, por supuesto, y ya que el e-mail es esencialmente un servicio de no-conexión, el receptor deseado no tiene que tener acceso a la red antes de que alguien le pueda enviar e-mail la mayor parte de estos mensajes deben ser guardados en algún lugar de la red en grandes servidores de correo, u “oficinas postales”, hasta que los usuarios tengan acceso a ellos, los lean y los eliminen.

Los servicios *Web* tienen que ver con la transferencia de datos leíbles por computadora entre dos organizaciones separadas puede intercambiar mensajes *soap* (XML) que representan una factura, una lista de empaque, o una orden de compra. Con los servicios *Web*, en lugar de procesar a mano formularios fotocopiados y enviarlos o enviarlo vía fax a mano al personal apropiado para que los procesen, una organización puede llenar los datos en un formulario electrónico correcto y enviarlo a través de una red. Al llegar al sistema de computadoras de la organización destino, el formato estándar puede ser traducido al formato interno de la propia organización y procesarlo automáticamente con el *software* de aplicación.

Los servicios *Web*, sin embargo, ofrece más que solo una forma para procesar cantidades de órdenes de trabajo. Las gráficas están siendo crecientemente construidas en transacciones de datos ordinarios, y estas gráficas se requieren generalmente en circunstancias que tienen que ver con productos modificados de acuerdo a especificaciones individuales.

Ordenar partes o materiales meramente de listas de vendedor no es suficiente para transmitir adecuadamente la verdadera naturaleza de los productos. Una gráfica esquemática o dibujo de producción es usualmente necesario para completar toda la transacción de negocios. En algunas industrias, notablemente la automotriz en los Estados Unidos, el soporte para un anfitrión de formatos XML estándar es requerido para todos los proveedores aprobados para los grandes fabricantes de autos.

Un uso común para las redes hoy en día en muchas organizaciones es aprendizaje a distancia. Mientras las tutorías y el entrenamiento (y re-entrenamiento, hasta ahora) se vuelve más importante, especialmente en la industria de alta tecnología, la presión para reducir cosas tales como gastos de viaje y tiempo lejos del ambiente de trabajo inmediato también se esta haciendo más grande. En lugar de tradicionales cursos de salón de clase con un instructor, muchas organizaciones han escogido explorar el uso de redes, usualmente redes de video y datos, para llevar entrenamiento más efectivamente a la ubicación del trabajo.

A veces a simple vista es una forma llamada de aprendizaje asincrónico, el uso de la red de la organización para llevar entrenamiento

e instrucción casi a todos lados y a cualquier hora coloca presión adicional a la red. Algunas organizaciones han ido tan lejos como a comprometerse a un nivel dado de educación a distancia, “20% de todos los materiales”, al final de cierto periodo de tiempo. El aprendizaje a distancia solamente crecerá en sofisticación de popularidad en el futuro.

Un número constantemente creciente de personas están trabajando en casa ya sea con negocios basados en casa o como parte de un negocio corporativo. Una herramienta popular que ejemplifica esto es *http://gotomypc*. Ambos empleados y empleadores están encontrando esto como una alternativa viable para comunicaciones largas y están encontrando satisfacción de trabajo y productividad incrementados.

En algunos casos, la telecomunicación es una alternativa forzada en los empleados a tal punto que las grandes corporaciones cumplen con las regulaciones ambientales a nivel estatal y nacional. Por ejemplo, el Acta Federal de Aire Limpio hace mandataria una opción para trabajar en casa a empleados calificados y descripciones de trabajo. Una oficina en casa usualmente incluye como hardware una computadora, cable módem, fax, y maquina contestadota. En muchos casos contar con *software* para compartir pantallas podría permitir el compartir datos, imágenes y documentos con colegas y clientes. El *software* de *e-mail* y explorador de *World Wide Web* proveen acceso a las redes de *e-mail* e *Internet*, permitiendo las comunicaciones con los colegas alrededor del mundo un ejemplo de esto es la red telefónica por *Internet* llamada *Skype*. Otro *software* permite el acceso a bases de datos de “archivos de tarjetas”

electrónicos de colegas de negocios que podrían desplegar información automáticamente acerca de alguien que esta llamando, marcando el hecho de que un individuo trabaja en casa en forma transparente para el cliente.

¿Qué hay de malo con este cuadro? Nada, excepto los asuntos gemelos de limitaciones de ancho de banda y retraso de red. Tan atractivas como son muchas de estas aplicaciones cliente-servidor y sus variaciones, el uso universal de todas ellas siempre esta limitado por la cantidad de ancho de banda de red disponible y el retraso de red de extremo-a-extremo que el usuario encuentra cuando tiene acceso a cualquiera de estas variaciones cliente-servidor. En la vasta mayoría de estos casos, el cuello de botella de red no esta en el lado *LAN* de la red, sino en la parte de la red *WAN* empleada entre ellos.

Muchas organizaciones emplean aplicaciones cliente-servidor para permitir que sistemas de computación distribuidos ocurran en la mezcla de *LANs* y *WANs* usadas en varios sitios. En la vasta mayoría de casos, las *LANs* son del tipo *Ethernet* de 100 Mbps, cerca del 90% de todas las *LANs* construidas son una clase u otra de *Ethernet*. El simple hecho es que a pesar de la disponibilidad por varios años de tecnologías tales como *Ethernet* de 100 Mbps y ATM de 155 Mbps empleadas para el escritorio esencialmente en una configuración *LAN*, la *Ethernet* de 100 Mbps continúa siendo la opción de tecnología *LAN* para las organizaciones.

Varias razones existen para la continuada popularidad de las *LANs Ethernet*. Primero, los componentes de hardware y *software* son

extremadamente baratos y los precios continúan cayendo. Siguiendo, varias arquitecturas de escritorio populares incluyen conectividad construida a *Ethernet* de 100 Mbps directo en el motherboard (tarjeta madre) de la computadora. Por ejemplo, una estación de trabajo *UNIX* de *Sun Microsystems* contiene un conector *Ethernet* integrado. Después de todo, ¿qué más podría hacer uno con una estación de trabajo además de conectarla a una *LAN Ethernet*? Luego, hay una vasta piscina de gerentes de red, administradores, instaladores, y otro personal misceláneo que conocen bien el *Ethernet*, y para la exclusión de familiaridad con otras tecnologías *LAN*. Las universidades alrededor del mundo gradúan más de este personal entrenado cada año. La piscina es profunda y amplia y la experiencia en *Ethernet* está fácilmente disponible.

El uso incrementado de acceso a *Internet* de alta velocidad a residencias con múltiples PCs ha incluso llevado al uso de *Ethernet* directo en la casa.

La última razón para la popularidad de *LANs Ethernet* es la más relevante en esta discusión. Hay poco incentivo para que las organizaciones incrementen la velocidad de sus *LANs* incluso para aplicaciones cliente-servidor hambrientas de ancho de banda ya que las *LANs* no son el cuello de botella en la mayoría de casos.

Aunque escritorios más poderosos han reducido el número de escritorios unidos por una *Ethernet* simple de cientos a decenas a casi uno, los resultados netos han sido que la cantidad de tráfico en una *Ethernet* simple ha permanecido constante. La carga y cuello de botella se han

cambiado ahora a los dispositivos de interconexión entre las *Ethernets* y el ancho de banda disponible en estos enlaces.

Tan común como el *Ethernet* es un tipo de *LAN*, así el ruteador es un dispositivo de interconexión *LAN*. Las raíces de la popularidad del *router* se remontan a los días cuando las *LANs* estaban casi universalmente ligadas por puentes.

Este no es realmente el lugar para debatir los méritos del uso de puentes versus *routers*, pero mas observadores de la industria concuerdan en que los puentes tienen sentido en ambientes de interconexión *LAN* local, tal como cuando todas las *LANs* están en el mismo parque de oficina, o solamente hay grupos de *LANs* dispersas, mientras que un *router* puede manejar algo más grande o más ampliamente disperso. Ciertamente, el éxito de *Internet*, que emplea el *router* como un dispositivo de nodo en la red de preferencia (actualmente), ha llevado a la incrementada popularidad del *router* en sí mismo como un dispositivo de conectividad de red.

El factor limitante en la mayoría de aplicaciones cliente servidor hoy en día, por lo tanto, es la cantidad de ancho de banda disponible entre los *routers* de la organización.

1.2 Multimedia

El segundo mayor desarrollo que ha llevado a la necesidad de más ancho de banda es el incrementado uso de multimedia en un número de diferentes situaciones de red. Los documentos que corren voz mientras que despliegan texto, imágenes que se mueven, y gráficas que evolucionan a través del tiempo son todos ejemplos de multimedia. La multimedia no es solo leída, es escuchada y vista.

La multimedia demanda atención, podemos tomar como ejemplo de esto a *Google earth*. A pesar de este uso casi obvio del término multimedia, la multimedia permanece como un concepto no muy bien definido. Mucha gente toma el enfoque “yo la conozco cuando la veo” y lo deja allí. Parece claro que un registro de base de datos normal desplegara en la pantalla de una computadora mientras que el usuario va por una taza de café. Pero quizá un registro de base de datos multimedia no lo hará. Cuando el usuario regrese refrescado, el aspecto multimedia del registro de base de datos puede ya haber “sucedido”. El usuario se lo ha perdido. El evento puede ser repetido, por supuesto, pero el punto es el mismo. La multimedia pasa: no es estática.

La multimedia ha sido variadamente descrita como ya sea que incluya, o incluso ser caracterizada por, la inclusión de cosas como video, gráficas tridimensionales, animación, música, voz, narración, reconocimiento y síntesis de voz, documentos escaneados, fotografías,

clips de televisión, realidad virtual, e incluso dispositivos de entrada basados en bio-retroalimentación en aplicaciones que no sean solo de texto o solo de datos. No todos estos elementos tienen la característica “evolutiva” enfatizada anteriormente, pero quizá el uso de medios múltiples es justo una buena definición. Sin embargo es definida, la multimedia hoy en día parece implicar que las redes deben ahora soportar suficiente ancho de banda para al menos permitir la inclusión opcional de voz, audio (sonido de calidad), y video junto con los datos a ser enviados del servidor al cliente a través de la misma red física.

Estándares tales como un *MPEG* y H.323 han sido desarrollados para definir y soportar redes de comunicaciones multimedia. Aplicaciones de voz simple y datos mezclados podrían probablemente ser soportados adecuadamente con las tecnologías *WAN* existentes, sin embargo, cualquier aplicación que tiene que ver con video mezclado, sonido estéreo con calidad de DVD, y datos se beneficiara por los incrementados anchos de banda *WAN* y retrasos más bajos. Por ejemplo, los experimentos y pruebas ocurren en movimiento para permitir el despliegue de un sitio *Web* relacionado a un evento deportivo o incluso a un drama televisivo nocturno en la pantalla de la TV.

Las PCs rutinariamente tocan audio CDs en el mismo drive que se usa para los DVD-ROMs basados en datos. La mayoría de los sistemas de PCs vienen con mejores bocinas (y características tales como subwoofers potenciados) que aquellos encontrados en sistemas de estéreo solamente hace unos años. Los usuarios de PC pueden fácilmente

escuchar a MOZART mientras escriben un reporte para el trabajo o la escuela. Las conexiones de TV por cable pueden estar conectadas a tarjetas de PC baratas que permitan ver programas de televisión en una ventana del monitor. Extrañamente, esta imagen de TV puede usualmente estar ionizada como estaría cualquier ventana de aplicación de la PC. Pero el icono de TV contiene una pequeña, pero adecuada versión de la foto de la televisión.

La multimedia esta ya presionando los limites de las capacidades de las redes. La PC probablemente se convertirá en el punto focal de la actividad del hogar en la misma forma que la TV es hoy en día. Estas unidades caseras de PC/estéreo/TV ya aparecen y proveen nuevas interfases multimedia entre las personas y computadoras a través de las redes. En lugar de manipular texto y números, y más tarde gráficas y bytes de sonido simple, una nueva generación de usuarios estará manipuLANDo imágenes en movimiento, cambiando los finales de las películas o improvisando un nuevo clímax para una pieza musical popular. Las gráficas foto-realistas borrarán la línea entre la TV y la PC.

Un nuevo hilo corre a través de todos los ejemplos multimedia mencionados: la multimedia es ya sea llevada localmente al usuario o accesada a través de una red construida especialmente para este propósito. Los DV-ROMs con audio y video como las enciclopedias multimedia son usualmente accesados directamente desde el drive DVD-ROM local, no a través de una red, ni siquiera a través de una LAN. Los

DVDs de audio deben ser accedidos y tocados en esta forma. La conexión de TV por cable a la PC para video hace esencialmente una TV del monitor de la PC. Cualquier otra conectividad de red, para acceso a *Internet* o telecomunicación, debe mantenerse separadamente. La red, por lo tanto, también es un factor limitante aquí.

Sin embargo, las redes tendrán que manejar un rango de información: las poderosas PCs en las *LANs*, aplicaciones cliente-servidor uniendo computadoras en ubicaciones diversas y aplicaciones y archivos multimedia alrededor del mundo.

Pero ¿qué clase de red será capaz de hacerlo?

1.3 Redes de Banda Ancha

El término banda ancha es usado al menos tan frecuentemente y probablemente tan impreciso como el término multimedia. A veces parece hacerse una distinción entre una red de banda ancha y una aplicación de banda ancha, pero esto ayuda poco al definir el término banda ancha más precisamente porque estos términos son usualmente definidos circularmente. Esto es, una aplicación de banda ancha es aquella que requiere una red de banda ancha para funcionar. Se debe crear una mejor definición.

En realidad, hay una definición estándar e internacionalmente aprobada de red de banda ancha; definida por la Unión Internacional de Telecomunicación (ITU, por sus siglas en inglés), una red de banda ancha se caracteriza por: “velocidades más altas que la escala primaria”. La escala primaria se refiere a la velocidad de la interfase de escala primaria ,PRI, por sus siglas en inglés, del ISDN, que es de alrededor de 1.5 Mb por segundo en los Estados Unidos y alrededor de 2 Mb por segundo en la mayor parte del resto del mundo.

Esto parecería implicar que mi red corriendo unos pocos mega bits por segundo más rápido calificaría como una red de “banda ancha”. Muchas redes hacen las *LAN* y las *WAN* muy parecidas. El problema es que esta definición fue establecida por la ITU mucho antes de que el aumento de poder de la PC, la popularidad de la tecnología cliente-servidor, y la promesa de la multimedia pusieran tanto énfasis en las capacidades de la red. Por lo tanto, a pesar de esta definición el término banda ancha ha venido a significar mucho más que sólo una red construida afuera de los vínculos que corren un par de mega bits por segundo más rápido.

Debido a que uno de los objetivos principales de este trabajo es explorar la posición que SONET sostiene en relación a las redes de banda ancha, quizá hay una mejor definición de banda ancha, una más apropiada a lo que SONET es y hace. Para los propósitos de este trabajo el término banda ancha es definido como una red capaz de soportar multimedia interactiva, solamente que sean capaces de proveer tal soporte si es

necesario. Nada en esta definición previene a dichas redes, por ejemplo, de soportar solamente la transferencia de archivos a alta velocidad o el acceso rápido a la base de datos del cliente-servidor.

En lugar de esto, esta definición da muy bien una sensación más intuitiva a muchos de los términos que incluyen el término banda ancha. Por ejemplo, una red de banda ancha es ahora una red de multimedia interactiva.

Una aplicación de banda ancha es ahora aquella que incluye soporte para multimedia interactiva en su software. En un sentido, sin embargo, la nueva definición, aceptada como subjetiva, es justo tan redundante como la antigua. ¿Qué es multimedia interactiva?

No existe una definición oficial del término multimedia interactiva. Pero quizá eso no es realmente una limitación, pues definiciones oficiales de organismos estándares, como en el caso con el término banda ancha en sí, pueden no ser de mucha ayuda. En esta definición aceptada como no oficial, el término multimedia interactiva se puede dividir en sus dos componentes: multimedia e interactiva. Multimedia ha sido ya definida como información enviada a través de una red, que no sólo es leída, si no que es vista u oída. Interactiva puede ser definida como una aplicación en la que la acción ingresada por el usuario afecta inmediatamente el resultado que da la aplicación. La acción ingresada por el usuario puede ser un click en un botón del *mouse*, el presionar de una tecla de función o de entrada, o algo más. La salida es usualmente algo desplegado en el monitor, pero podría ser algún sonido o incluso imágenes impresas.

Desafortunadamente, no se pueden poner intervalos de tiempo absolutos en las palabras ahora e inmediatamente en este contexto. Pero otra vez, esto no es necesariamente algo malo. De hecho, los únicos criterios son los que los mismos usuarios aplican a estos términos. No hace mucho tiempo atrás, una aplicación interactiva (o en tiempo real, o en línea; los términos variaban) era aquella en la que lo ingresado por el usuario tenía una salida en alrededor de seis segundos o menos.

Los hoy usuarios nunca permitirían una red y un sistema tan lentos. Hoy, los usuarios interactivos quieren aplicaciones, sistemas y redes con tiempos de respuesta por debajo de un segundo.

El término multimedia interactiva, por lo tanto, puede ser libremente definido como la entrega de contenido multimedia basado en la dirección inmediata del usuario. Cuando la multimedia interactiva es colocada de acuerdo al modo del servidor de cliente, se espera que el usuario esté sentado en una computadora cliente, y el contenido multimedia resida en un servidor remoto, o incluso varios servidores remotos, ya que multimedia implica múltiples corrientes de información. Cada corriente puede derivar de una fuente independiente. Una red de banda ancha puede ser definida como una red capaz de transmitir multimedia interactiva en una arquitectura de cliente-servidor.

Hoy en día, pocas redes pueden transmitir multimedia interactiva efectivamente. Incluso las redes de área local, *LAN*, por sus siglas en inglés, luchan con esta tarea, al grado de que se debe ingresar a mucho

contenido de multimedia interactiva desde el DVD-ROM directamente adjunto al escritorio del sistema. Esta lucha ocurre porque las aplicaciones de multimedia interactiva hacen dos demandas, muy diferentes pero relacionadas, en una red.

Las aplicaciones de multimedia, interactivas o no, se caracterizan por una necesidad de grandes cantidades de banda ancha, usualmente medida en bits por segundo.

Una aplicación sólo de texto, tal como ingresar a una página de la *World Wide Web* en un servidor remoto con un explorador (cliente), puede usualmente hacer 30 Kb por segundo. Agregar audio al sitio *Web* incrementará el tiempo de carga y hará los canales de ancho de banda más alto enlazados al ISDN, que corren a 128 Kb por segundo, más deseables. Ver video aceptable de un sitio *Web* remoto puede forzar a los usuarios a buscar anchos de banda en los rangos de los megabit, usualmente 6 Mb por segundo, pero tan bajo como 1.5 Mb por segundo para ciertos videos.

Obviamente, SONET es una forma de proveer todo el ancho de banda que una aplicación de multimedia necesita. Pero hay más en la historia de la red de banda ancha que el incrementó del ancho de banda. Aquí es donde la porción interactiva entra en la ecuación del ancho de banda.

Las aplicaciones interactivas que, por supuesto, no siempre envuelven contenido multimedia, se caracterizan por atrasos pequeños y

estables a través de la red. Pero los atrasos pequeños y estables son necesarios. Cuando el atraso a través de la red varía mucho, el resultado final es una vibración inaceptable.

El sonido es distorsionado por la vibración y el video sufre de molestas aceleraciones y disminuciones, resultando en una presentación insípida. Los pequeños atrasos son necesarios en primer lugar para hacer posible la interacción.

Lo ingresado por el usuario debe viajar a través de la red a la fuente remota, afectar la salida, y luego el resultado alterado debe viajar de regreso a través de la red para aparecer en el sistema del cliente.

Si SONET sólo afectara el ancho de banda disponible a los usuarios en la red de banda ancha, ¿qué pudiera causar retrasos en la red de banda ancha? Realmente, el ancho de banda tiene un efecto en el retraso de la red en general. No es un efecto obvio, sin embargo, y requiere unas pocas palabras más acerca de los efectos del ancho de banda en el retraso.

1.4 Ancho de banda y Retraso

La relación entre ancho de banda y retraso en cualquier red es raramente reconocida por los usuarios finales. Mucha de la confusión se produce porque ambos términos usan la unidad “segundos” (bits por segundo, segundos de retraso) en sus mediciones. Considere el vínculo de red mostrado en las figuras 1 y 2. La figura 1 ilustra como el retraso

es medido en una red, mientras que la figura 2 ilustra como el ancho de banda es medido en una red.

En la figura 1 una fuente envía una estructura a través de un enlace de red. En la práctica real, no se necesita hacer esta medición sobre un enlace simple. La red entera consistente de nodos de red (los *switchs* o *routers*) y troncos (enlaces entre nodos de red) puede ocurrir entre los puntos extremos de las mediciones.

La figura es sólo una ilustración. El punto es que el primer bit de la estructura deja la fuente en cierto punto en el tiempo (T_1) y este primer bit llega a su destino más tarde en algún punto en el tiempo (T_2). El retraso es justo la diferencia en tiempo entre estas dos mediciones de tiempo del primer bit que entra al primer bit que sale de la red.

Figura 1. Medida de Retrasos en una red

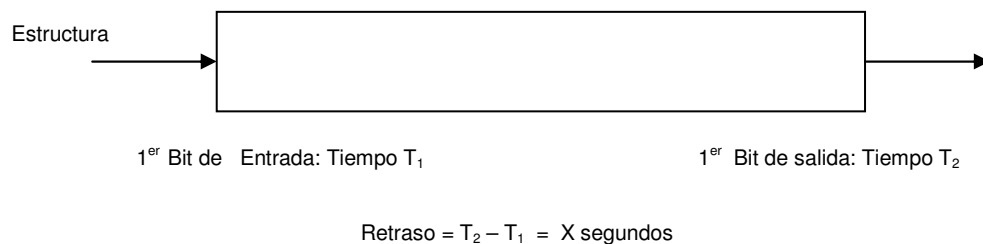
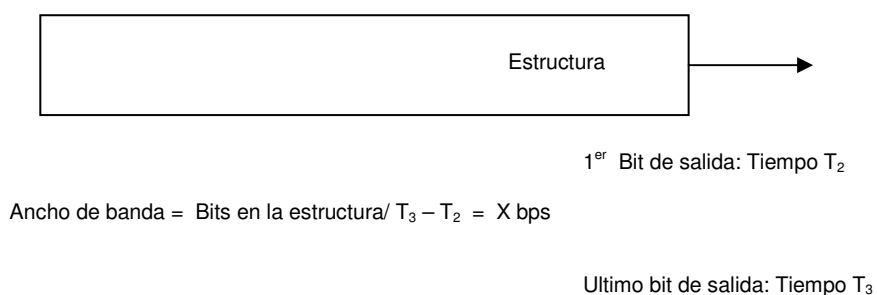


Figura 2. Medida de Ancho de Banda en una red



En la figura 2, la estructura ha llegado al destino. Habrá también un intervalo de tiempo para la estructura entera para llegar de la red al dispositivo destino.

El número de bits en la estructura (que varía), dividido por el intervalo de tiempo entre el primer bit que sale de la red (el mismo T_2 que antes) y el último bit de la estructura que sale de la red (T_3) determina el ancho de banda de la red disponible al usuario.

Tanto el retraso como el ancho de banda afectarán el tiempo de respuesta en general que el usuario experimenta de la red. Para entender por que ocurre esto, considere una red con retraso cero (nada de retraso) entre los extremos. Esto es, el primer bit de una estructura aparece en el destino tan pronto como es enviado ($T_1 = T_2$ en la figura). Es todavía posible que los usuarios se quejen “¡la red está tan lenta! ¿Cómo puede ser? Bien, considere que el ancho de banda disponible para los usuarios en esta red de cero retrasos es de solamente 8bps. Incluso una modesta estructura de 600 octetos tomaría 600 segundos (10 minutos) para llegar. En la vasta mayoría de casos, una computadora no puede hacer nada sin una estructura hasta que la misma este completamente en memoria, debido a que los campos de detección de error están usualmente localizados al final de la estructura, y no tiene

sentido procesar el principio de la estructura a menos que se determine que no existen errores en dicha estructura.

En tales casos, el retraso de la red está bien (cero), pero los usuarios no tienen suficiente ancho de banda en la red. En otros casos, el ancho de banda puede ser adecuado, pero el retraso es muy alto para el gusto de los usuarios.

Es posible intentar clasificar las aplicaciones de red como “ligadas al ancho de banda” cuando están restringidas por la cantidad de ancho de banda disponible o “ligadas al retraso” cuando estas aplicaciones son sensibles al retraso de la red en general. Por ejemplo, las transferencias de archivos son típicamente aplicaciones ligadas al ancho de banda. La transferencia de archivos se puede acelerar al incrementar el ancho de banda o disminuir el retraso, pero incrementar el ancho de banda dará probablemente mejores resultados.

Usualmente, a los usuarios nos les importa cuánto toman las partes de un archivo para llegar, con tal de que el archivo completo llegue dentro de una cantidad de tiempo. Al contrario, la voz es una aplicación ligada al retraso. Darle a la voz digitalizada a 64 Kb por segundo más ancho de banda no mejorará el desempeño de la red. Solamente un retraso adecuado y estable hará feliz al usuario de voz.

Es importante apreciar los diferentes efectos que el retraso y el ancho de banda tienen en la velocidad de la red en general. Los usuarios

siempre percibirán tanto las aplicaciones ligadas al ancho de banda y las aplicaciones ligadas al retraso causadas por redes “lentas”. Cuando los medios, tales como audio y datos, son combinados en redes de multimedia, debe haber retrasos bajos y estables, así como ancho de banda adecuado, para satisfacer a los usuarios. De forma interesante, la ITU define el término latencia en una red como el intervalo entre el primer bit que entra y el último bit que sale en varios estándares.

Esta definición casi combina los efectos del ancho de banda y del retraso. Sin embargo, la mayoría del personal de la red vagamente usa los términos retraso y latencia indistintamente.

El ancho de banda tiene obviamente un efecto en el retraso de la red; al menos como lo percibe el usuario. Sin embargo, los componentes más críticos del retraso de la red en general no dependen del ancho de banda. Cualquier usuario experimenta dos componentes de los retrasos de la red. Estos son el retraso de propagación de señal en los medios físicos y los retrasos de procesamiento nodal en cada nodo de la red (*switch* o *router*). Solamente uno de estos dos elementos se puede acelerar de manera realista.

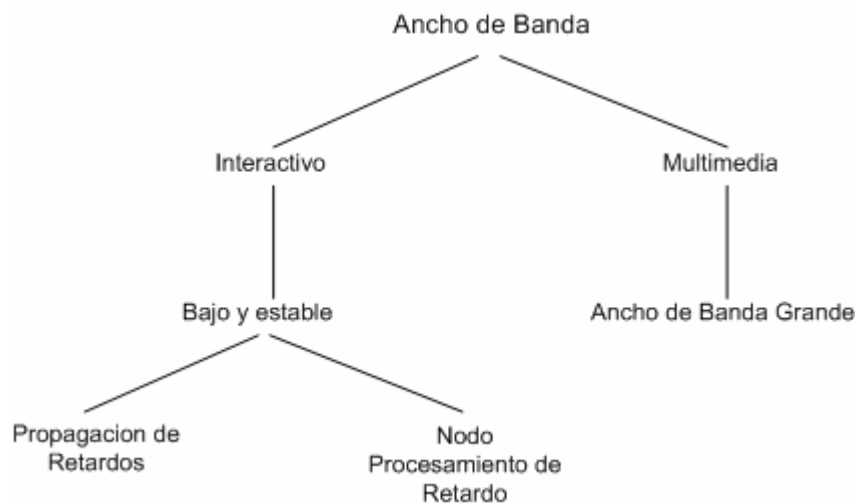
El retraso de propagación en una red es en consecuencia el hecho físico que la electricidad, la luz, o cualquier otra forma de señal electromagnética no puede viajar más rápido que la velocidad de la luz desde la fuente hasta el destino. De hecho, en la mayoría de redes, sin importar los medios físicos, las señales viajan mucho más lento, alrededor de $2/3$ de la velocidad de la luz. La velocidad de la luz es casi

exactamente 300,000 kilómetros por segundo, o alrededor de 186,000 por segundo. Esto significa que la mayoría de señales toman alrededor de 10 millonésimas de segundo o 10 microsegundos para viajar una milla. Un microsegundo, abreviado como μseg , es igual a $1/1000^{\text{th}}$ de un milisegundo. Un circuito de 2,000 millas de largo, tendría por lo tanto un retraso de propagación de $2,000 \times 10 \mu\text{seg} = 20,000 \mu\text{seg} = 20$ milisegundos, como se mencionó anteriormente.

Nada en una red disminuirá el retraso de propagación de señal de la fuente al destino, ni acercará el destino. Esta no es una opción viable en la mayoría de los casos. Por lo tanto, el único componente del retraso de la red que un proveedor de servicio de red puede mejorar es el retraso de procesamiento nodal.

Los retrasos de procesamiento nodal en una red, en cambio, dependen de dos factores: la primera velocidad en general del nodo, ya sea *switch* central, *router*, hub, u otro dispositivo exótico. Se necesita mucho para mover bits de un puerto de entrada a un puerto de salida, incluso cuando no hay “tráfico” en el interruptor. El segundo factor es la carga del nodo de red en un punto determinado. Entre más tráfico haya, más lento operará el nodo. Eventualmente, la operación puede bajar notablemente de velocidad, y se dice que el nodo está congestionado. Esto significa básicamente que el nodo de red está operando fuera de sus parámetros de diseño en términos de retraso. La presencia o ausencia de cargas puede hacer variar el retraso de extremo a extremo que manifiesta una aplicación.

Figura 3. Relación entre retardos en Banda Ancha y Ancho de banda



La figura 3 muestra la relación entre todos los conceptos discutidos hasta ahora. Banda ancha es definida como un soporte para la capacidad de multimedia interactiva. Esta porción interactiva depende de retrasos estables y bajos a través de la red. El retraso, en cambio, depende del retraso de propagación y de la velocidad de procesamiento nodal. El ancho de banda depende de la velocidad soportado por los medios disponibles.

1.5 Breve Historia de las Comunicaciones

La figura 3 muestra una vista de la historia de la comunicación a lo largo de las dimensiones de codificación analógica versus codificación digital y horario sincrónico versus horario asincrónico.

Se estima que la comunicación humana por medio del habla inició hace más de 50,000 años. ¡El asunto con usar lenguajes complejos para las comunicaciones es que tanto el emisor como el receptor deben hablar (o ser capaces de traducir) el mismo lenguaje! Este concepto es el mismo para todos los protocolos de voz y datos.

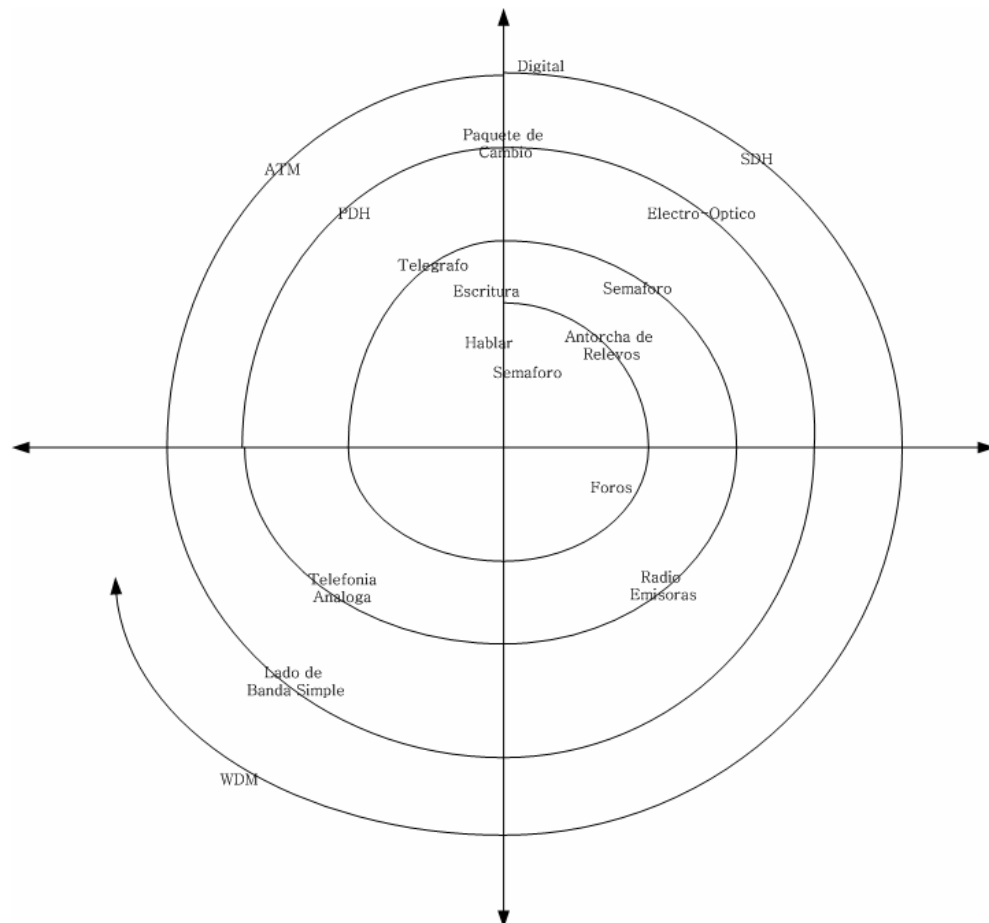
Se han encontrado imágenes gráficas en cavernas de más de 20,000 años de antigüedad. Las gráficas eliminaron la necesidad de traducir lenguajes, pero estaban limitadas en relación a los datos que podrían ser comunicados (a menos que usted crea en el axioma “una imagen vale más que mil palabras”.) Se han encontrado registros escritos de más de 5,000 años de edad. Finalmente, los hombres tuvieron la habilidad de registrar datos y enviarlos a grandes distancias. Pero eso tomó tiempo.

Los ejércitos no tenían satélites para rastrear los movimientos de tropas hace 2,000 años. Así que, mientras que muchos inventos nacen

por necesidad, los griegos cambiaron las comunicaciones digitales por comunicaciones ópticas.

Las comunicaciones ópticas digitales de larga distancia comenzaron antes del nacimiento de Cristo cuando los antiguos griegos usaron comunicaciones digitales y ópticas para transmitir información usando la colocación de antorchas en torres de estaciones de transmisión.

Figura 4. Comunicación de Datos “Rueda de la Reencarnación”



Los griegos y romanos nos ayudaron a prepararnos para formas tardías de comunicación de datos al popularizar los anuncios en público y los discursos que sirvieron como ejemplos de difusión de comunicaciones, así como comunicación individual en foros y debates.

Nuestros ancestros nos enseñaron bien – mientras que a los griegos les tomó 2000 años ir de comunicaciones análogas a ópticas, nuestros griegos del siglo 20 hicieron lo mismo en 20 años.

En los siglos XVII y XVIII, la telegrafía óptica se usó extensivamente en Europa. Más tarde, Samuel F. B. Morse inventó la telegrafía eléctrica en 1846, marcando lo inventado un poco más tarde por G. Marconi. Las comunicaciones análogas por emisiones radiales de señales de audio siguieron a finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Esta tecnología fue también aplicada a la comunicación análoga de voz en el mismo marco de tiempo.

La emisión de señal de televisión se volvió comercialmente viable a finales de los 1940s. Luego, en los 1950s, la conversión de voz análoga a señales digitales en la Jerarquía Digital Plesincronica (PHD, por sus siglas en inglés) comenzó a hacer uso del cableado instalado en grandes áreas metropolitanas. Esto fue seguido por la invención del intercambio de paquetes de información como una rama de la investigación dentro de las redes seguras de comunicación militar. La transmisión de fibra óptica y

el concepto de transmisión digital sincrónica fueron introducidas a principios de los 1980s.

La transmisión analógica de voz tuvo un breve renacimiento en los 1980s al usar la banda de un solo lado (SSB, por sus siglas en inglés). El modo de transferencia asincrónico (ATM, por sus siglas en inglés) movió entonces el círculo de la tecnología de regreso al dominio de la comunicación asincrónica.

La siguiente gran vuelta en la tecnología emergente es la División Múltiple de Longitud de onda (WDM, por sus siglas en inglés) y la División Múltiple de Longitud de onda Densa (DWDM), que es analógica y asincrónica y usa colores de luz para extender el ancho de banda disponible de una fibra óptica simple a *terabits* por segundo. La velocidad (transferencia) de comunicación ha aumentado geométricamente en el tiempo a través de cada uno de estas fases evolutivas de la tecnología.

Esta no es la analogía perfecta – la rueda gira unas veces mas rápido que otras. Por ejemplo, actualmente nos movemos del Modo de Transferencia Asincrónica, una tecnología digital asincrónica, toda una vuelta hacia la División Múltiple de Longitud de Onda, una tecnología analógica asincrónica.

La milicia ha sido un usuario clave de las redes de comunicación de datos a través de la historia, y la mayoría de los inventos fueron descubiertos y desarrollados para resolver necesidades militares. El telégrafo fue significativo a las fuerzas de la Unión en la guerra civil, en

donde las comunicaciones al instante de ubicaciones y tamaños de ejércitos a lo largo de todo el campo daban una ventaja distintiva al Norte. Muchos procesadores de datos y sistemas computacionales tempranos fueron desarrollados durante la Segunda Guerra Mundial, cuando la integración de sistemas era ejecutada por necesidad para reducir la complejidad.

Después de la Segunda Guerra Mundial, se necesitó una red interconectada de comunicaciones para controlar los centros de control y comando, los sistemas de sensores y armas, las redes de voz, y las computadoras que corrían estos sistemas. Esto fue el principio de la arquitectura de telecomunicaciones del Departamento de Defensa (DOD, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos.

El siguiente mayor avance del DOD fue el establecimiento de la red de la agencia de proyectos de investigación avanzada, *ARPANET*, por sus siglas en inglés. La *ARPANET* fue establecida en 1971 como la primera red de intercambio de paquetes de información. Esta red de datos conectó localidades civiles y militares, como también universidades. En 1983, una mayoría de usuarios de *ARPANET*, incluyendo contingentes de los círculos pacífico y europeo, fueron separados para formar la Red de Datos de Defensa (DDN, por sus siglas en inglés) – también conocida como *MILNET*. Algunas localidades en los Estados Unidos y Europa permanecieron con *ARPANET*, y están ahora enlazadas con la *Internet DARPA*, que conecta a muchas universidades y redes de telecomunicación nacional. La *ARPANET* original fue clausurada en

1990. Muchos de los avances en las comunicaciones por computadora, incluyendo los protocolos direccionales y de red, han sido desarrollados a través de la experiencia en la *Internet* y proyectos relacionados.

El explosivo crecimiento de la *Internet* ha ocurrido en conjunción con el explosivo crecimiento en los requerimientos de banda ancha de consumidores y corporaciones.

Es curioso notar que estos dos requerimientos – de consumidores y de corporaciones – tienden a rebasarse uno al otro. Hasta hace poco, las conexiones de marcado de 56 Kb por segundo por parte del consumidor no podían competir con las velocidades DSI de las corporaciones. Los servicios por cable y XDSL al consumidor son ahora más encontrados por doquier que conexiones corporativas de igual velocidad, y de hecho, muchas corporaciones están evaluando estas dos tecnologías como alternativas al acceso de líneas privadas y transmisión de estructuras. Pero veremos más tarde que el acceso del consumidor es muy diferente que el transporte corporativo.

El intercambio de paquetes de información tiene su parte en esta evolución. El ingreso a las redes basadas en hosts (anfitriones) por medio de terminales locales y remotas produjo que estas evolucionaran a través del uso de redes privadas y más tarde servicios de intercambio de paquetes de información. El ejemplo primario es la Arquitectura de Redes de Sistemas (SNA, por sus siglas en inglés) de IBM. Esta arquitectura provee la plataforma a muchas terminales no inteligentes y estaciones de trabajo para comunicarse con un host o computadora

central inteligente en forma jerárquica, o de estrella. Esta jerarquía fue desarrollada por dos razones:

- Recolectar inteligencia cara en el host y permitir a las terminales tener un poco de inteligencia residente fue el *baLANce* más efectivo en relación a costo.
- Las instalaciones de transmisión que podrían ser compartidas en el punto de acceso, como con circuitos de varios puntos, fueron muchos más efectivos en relación a costo que los circuitos de punto a punto para cada sitio.

Más tarde, el acceso a intercambio de paquetes de información habilitó incluso diferencias más grandes, hasta el punto en el que el cliente-servidor distribuía patrones de tráfico creados por computadora que destruyeron el diseño de topología jerárquica y requirieron arquitecturas distribuidas entrelazadas. El driver primario para la computación distribuida y estos cambios fue la *LAN*. Las *LAN* eran el siguiente mayor desarrollo en el ambiente de redes de comunicaciones por computadora, con la llegada de *Ethernet* producido por Xerox, DEC e Intel en 1974.

Token ring dominó el ambiente IBM y la *Ethernet* dominó la mayor parte del resto. Hoy, *Ethernet* es claramente el estándar *LAN* predominante. La arquitectura de cliente-servidor y el procesamiento

distribuido a través de las *LAN*, *MAN* y *WAN* marcó el principio de las comunicaciones modernas de datos.

Esto finaliza el curso sobre la “Historia de Datos 101”. Ahora nos movemos a la historia de datos más reciente comenzando en los 1990s.

1.6 Una Historia reciente de las comunicaciones de datos

Uno de los retos primarios enfrentados por muchas corporaciones hoy en día es lidiar con el movimiento de un ambiente de aplicaciones y protocolos controlados con aplicaciones estructuradas y centralizadas a un ambiente de opciones individuales a través de arquitectura y protocolos múltiples. Una esto a la acción de *switches* y *routers* requerida a través de la disminución de redes *LAN* interconectadas para soportar la impresionante velocidad de la proliferación de computadoras personales (lea requisitos de trafico de red exponencialmente crecientes) y tendrá un cambio de paradigma (¡y la frase mas común de la década!) Esta disminución de redes y cambio a cliente-servidor comenzó la @evolución, a veces llamada la “revolución de la información” de la red de datos corporativa. Lo que comenzó como una computadora personal diseñada para el uso en el hogar se ha convertido en una necesidad corporativa en cada *laptop* y computadora de escritorio.

En los 1990s, fue una opción evolucionaría natural para el visionario ingeniero de diseño de redes dirigirse a los usuarios en sus dos muy diferentes islas de información – las computadoras de escritorio interconectadas a una *LAN* distribuida que soportaban aplicaciones cliente-servidor basadas primordialmente en *Ethernet* e IP, y el campo de los Sistemas de Manejo de Información, MIS, por sus siglas en inglés, con una computadora central soportando sistemas de legado y protocolos SNA usados para contabilidad y cobros – al crear un ambiente común usando *switches* y *routers* para lograr interconexión e Inter-labor. Mientras estos dos mundos se mezclaban, se creó una tremenda oportunidad para los proveedores de dispositivos de red (*switches*, *routers*, hubs, etc.) y proveedores de servicios (ofreciendo varios tipos de servicios de red virtual privada; VPN, por sus siglas en inglés).

Los costos decrecientes, la complejidad y el fenómeno de la creciente omnipresencia de los *routers* y *switches* de *LANs* y *WANs* habilitaron la conexión de *LANs* mejoradas y protocolos de *routers*. Esto es muy similar a lo que pasó cuando las mini computadoras invadieron el territorio de la computadora central y los costos de las minis cayeron a niveles de aprobación de presupuestos por departamento, pasándose por encima de la aprobación de presupuesto MIS corporativo. Los *routers* habilitaron efectivamente la segmentación de la *LAN* corporativa dentro de grupos de usuarios, que más adelante habilitó la conexión interdepartamental de diversas tecnologías y protocolos *LAN* en una manera efectiva en relación a costo.

Muchas redes de *routers* y *switches* “hechas en casa” colocaron el costo y el control en las manos del usuario final más de lo que se había visto antes.

A finales de los 1980s y principios de los 1990s muchos usuarios se hicieron una pregunta: ¿por qué conformarse a los que dicta el MIS corporativo cuando puedes construir tu propia *LAN* departamental y manejar el 90 por ciento de tus necesidades de procesamiento de datos? ¡Pero con esta independencia vino la complejidad y los costos escondidos, mientras que las corporaciones aprendieron que tener legado y aplicaciones y plataformas de red de la nueva era requería más del doble de soporte! Por lo tanto, cuando hubo necesidad de interconectar estas *LAN* una a otra o con los sistemas de legado, los gerentes de legado MIS y los gerentes empresariales *LAN* tuvieron que trabajar juntos para integrar el acceso de las *LANs* a las computadoras centrales de VAX, IBM o *MICROSOFT*. Por muchos años, e incluso para muchas corporaciones de hoy en día, estos dos mundos permanecieron como centros de costos separados con personal de soporte duplicado.

Además, la ínter conectividad de la *WAN* fue generalmente más allá del panorama de un simple gerente de *LAN* y tuvo costos que tuvieron que ser compartidos a través de múltiples *LANs*.

El *router* también encontró su lugar aquí como la puerta a la *WAN* y continuó la onda de control de usuario hacia los 1990s. Hoy, la línea de la computadora de escritorio a través de la *LAN* y hacia la *WAN* se ha borrado, violentada por la colocación de la aplicación dentro de la red con el movimiento al comercio electrónico y por los servicios *Web* (WS, por sus siglas en inglés). Por un tiempo se vio como que aunque este rol de integración sería eventualmente concedido a los servicios y cambios de ATM cerca del cambio de siglo, pero ese no ha sido el caso. Pero la popularidad de la *Internet*, y la fácil y barata red usando *Ethernet*, cambiaron todo eso.

IP, FR, y ATM llegaron en la era de las crecientes y aun eufóricas especificaciones de los usuarios capturados en esta nueva libertad de onda. La estación de trabajo de alto rendimiento y los servidores usando 100 MbE y GbE, y que requerían servicios de multimedia (voz, datos o video) lideraron la siguiente revolución de comunicaciones de datos. Muchos de los sistemas de legado estaban atados a redes con rutas de nueva era a través de *gateways* o conversión a interfases *LAN* de *token ring* con direccionamiento, mientras que otros sólo fueron escritos en aplicaciones cliente-servidor y reemplazados con el tiempo. El gerente MIS aún necesitaba enfocar la atención en el diseño y mantenimiento de sistemas de host y procesador final frontal multicapas ya que muchas aplicaciones de misión crítica todavía residían allí, al menos hasta que pudieran ser transferidas a aplicaciones de Planeación de Recursos Empresariales (ERP, por sus siglas en inglés) de cliente-servidor, como *Oracle Financials*, *PeopleSoft*, *BAAN* y *JD Edwards*.

Las posiciones gerenciales *LAN* y *WAN* se mezclaron con el rol gerencial MIS o IT, y este individuo sencillo necesita ahora enfocarse en las necesidades del usuario y servidor de la estación de trabajo de alto rendimiento, mientras que continúa para mejorar el soporte proveído a los usuarios que emplean tecnología de legado. Traer los requisitos de estos dos dominios divergentes a una red omnipresente y “sin costuras” es esencial. Usted no debería estar atrapado en el glamour de una simple tecnología de integración tal como ATM o IP hasta que un camino claro sea definido para aplicaciones emigrantes de misión crítica de una tecnología antigua a una nueva. Otra vez, el concepto de la trampa nos dice que una red bien diseñada que una vez fue pensada para un protocolo y aplicación simple, atraparé fácilmente muchas más aplicaciones y protocolos a través de su vida; ¡así que asegúrese que la infraestructura de su sencilla red sea la correcta!

2. SONET ARQUITECTURA Y PROTOCOLOS

SONET es un conjunto de estándares coordinados ITU, ANSI y *Bellcore* (ahora *Telcordia*) que define un conjunto jerárquico de escalas y formatos de transmisión. Estos deberán ser usados por los vendedores de equipo y proveedores de servicio en o por encima de una escala de transmisión óptica de 51,8409 Mbps, que forma la escala de transmisión base para SONET. Hoy en día, SONET trata con velocidades de transmisión tan altas como 10 Gbps.

Ahora se describe los niveles de arquitectura fundamentales de SONET y los protocolos usados por SONET en estos niveles. Los formatos de estructura SONET básicos son presentados, así como los conceptos importantes de los tributarios virtuales y las estructuras de los sistemas de súper-escala. Los tributarios virtuales son usados para compatibilidad en reversa con jerarquías digitales existentes, no solo la jerarquía de *Tcarrier* Norteamericana, sino también otras. Las estructuras de sistemas de súper-escala son usadas para el transporte de tráfico B-ISDN, mas notablemente las células usadas en redes de Modo de Transferencias Asíncrona (ATM).

Ya que se menciona el transporte de células ATM dentro de SONET, se debe hacer una importante distinción. El término asincrónico es parte del acrónimo ATM y el término sincrónico es parte del acrónimo SONET. Así que, ¿cómo pueden las células ATM asincrónicas ser transportadas dentro de las estructuras de transmisión SONET sincrónicas? La respuesta está en el abuso de los términos asincrónico y sincrónico en la industria de las telecomunicaciones. Cada uno de los términos puede tener una variedad de significados dependiendo del contexto. En el caso de ATM, asincrónico se refiere a la forma en que ATM ejecuta la multitransmisión en una forma asincrónica o multitransmitida-sin-división-de-tiempo, con relojes de entrada sincronizados a los relojes de salida. ATM y SONET aun pueden funcionar juntos ya que funcionan a diferentes niveles de la arquitectura B-ISDN en general que los reunió.

2.1 Velocidades SONET

La tabla 2.1 muestra las velocidades básicas de la jerarquía SONET, que consiste en unos cuantos blocks de construcción de términos y velocidades. Cada nivel tiene un nivel de carrier óptico (OC) y una estructura de sistema de transmisión de nivel eléctrico que operan juntos, llamándose la señal de transporte sincrónico (STS). Tiene sentido que una estructura STS-3 es enviada en un enlace de fibra óptica OC-3, justo como una estructura T-3 es enviada en un enlace T-3 en la jerarquía de *Tcarrier*.

La tabla I también detalla la escala de bit de línea física, la escala de bit de Carga útil, y la escala de bit de *overheads* para cada nivel SONET mostrado. La Carga útil es meramente la escala de bit restante después de los bits de *overheads*, que no pueden ser usados para datos del cliente, son restados. La Carga útil es llevada a un sobre en SONET. Finalmente, la tabla da las designaciones de jerarquía digital sincrónica (SDH) para cada uno de los niveles SONET. Obviamente, el nivel STS dividido entre tres da el nivel de modulo de transporte sincrónico (STM). En otras palabras, SDH cuenta de tres en tres, mientras que SONET cuenta de uno en uno. Las unidades de conteo son la escala de bit básica de 51.84 Mbps. Los niveles STM incrementan por unidades de 155.52 Mbps (3 x 51.84 Mbps).

Tabla I. Jerarquía Digital SONET

Nivel Óptico	Nivel Eléctrico	Rango Línea (Mbps)	Rango de Carga (Mbps)	Overhead Rate (Mbps)	SDH Equivalente
OC-1	STS-1	51.840	50.112	1.728	----
OC-3	STS-3	155.520	150.336	5.184	STM-1
OC-9	STS-9	466.560	451.008	15.552	
OC-12	STS-12	622.080	601.344	20.736	STM-4
OC-18	STS-18	933.120	902.016	31.104	
OC-24	STS-24	1244.160	1202.688	41.472	
OC-36	STS-36	1866.240	1804.032	62.208	
OC-48	STS-48	2488.320	2405.376	82.944	STM-16
OC-96	STS-96	4976.640	4810.752	165.888	
OC-192	STS-192	9953.280	9621.504	331.776	STM-64

Debe notarse que no todos los niveles y velocidades SONET/SDH en la lista tienen actualmente soporte.

No todos los niveles eran necesarios, algunos no eran económicamente viables (en el sentido que, por un poco mas de dinero, una escala de línea mas alta podría ser usada), y esta limitación hizo la vida mucho más fácil para los vendedores de equipo y proveedores de servicio. Hoy en día, solo los niveles mostrados en negrilla en la tabla tienen soporte. Las velocidades SONET son OC-3, OC-12, OC-48, y OC-192. Las velocidades SDH correspondientes son STM-1, STM-4, STM-16, y STM-64.

Es absolutamente crucial recordar que a menos que se hagan otros arreglos en la configuración del equipo, SONET quedara canalizado como un enlace de *Tcarrier*. Es decir, un STS-3 contiene tres STS-1, así como un STS-12 contiene 12 STS-1. Todos los STS-1 dentro de un STS-48 en un enlace de fibra óptica OC-48 corren a 51.84 Mbps, la escala STS-1. En la misma forma, una estructura DS-3 contiene 28 T-1, todos operando a 1.544 Mbps. Irónicamente, SONET, sin importar las increíbles velocidades disponibles en los extremos más altos de la jerarquía, parecería limitar el trabajo de red para los canales operando a 51.84 Mbps desde cualquier usuario individual.

Sin embargo, justo como DS-3 (o DS-1 para ese asunto) esta disponible como un transporte no canalizado sin ninguna estructura (ahorre los bits de *overheads* de estructura DS-3), así esta SONET. Un

DS-3 no canalizado meramente ofrece una escala de bit rústica (no más de 28 DS-1) a 45 Mbps.

En la misma forma, un STS-12 no canalizado ofrecería al usuario una escala de bit rústica (no más de 12 STS-1) a alrededor de 622 Mbps. Más detalles de niveles SONET no canalizados – se llaman estructuras STS no canalizadas en SONET, pero concatenadas –.

Un bonito truco para convertir un nivel OC dado a Gbps es dividir el número OC entre dos y luego entre diez. El resultado es la escala de línea en Gbps. Por supuesto, esto funciona al dividir entre diez y luego entre dos, o directamente entre veinte. El resultado es el mismo. Por ejemplo, la velocidad de un OC-48 es $48/2 = 24/10 =$ alrededor de 24 Gbps. La velocidad de un OC-12 es $12/2 = 6/10 =$ alrededor de 6 Gbps o 600 Mbps.

Los términos usados en la tabla 2.1 aparecen frecuentemente en el resto de este documento. Ya que estos forman la base de la arquitectura SONET, un repaso de estos términos ayudara en el entendimiento de la arquitectura.

OC-N: Esta notación se refiere a las características de transmisión SONET de un enlace de transmisión de nivel enésimo. N puede tomar valores entre 1 y 255 (N es representado por un campo de 8 bits), pero no todos los valores son soportados. Esta notación es análoga a la notación T-1 en la red de transmisión de *Tcarrier* de

hoy en día. Dentro de SONET, se asume que un enlace de transmisión OC-3 tiene una estructura de esquema STS-4.

STS-N: En esta notación, STS se refiere a la estructura de esquema de SONET de un enlace de transmisión de nivel enésimo. N puede tomar valores entre 1 y 255 (un campo de 8 bits), como antes. Esta notación es análoga a la notación DS-1 en la red de transmisión de hoy en día. Aunque se debería referir a la mayoría de enlaces SONET como STS-N, es mucho más común (y más correcto) hablar de OC-N. *Tcarrier* trabaja bajo la misma carga, pero no ha sufrido por eso porque la mayoría de la gente dice “t-1” cuando realmente quieren decir “DS-1”.

Carga útil: El termino usado para indicar datos de usuario dentro de un esquema SONET. Las Cargas útiles pueden ser nivel subSTS-1 (por ejemplo T01s, E-1s, DS-2s), nivel STS-1 (por ejemplo, DS-3s), y súper velocidad (por ejemplo, células SMDS, células ATM).

Sobre: La porción de la estructura STS-1 usada para llevar la Carga útil y los *overheads* de sistema final.

Overhead: La porción de la estructura STS-N usada para llevar datos de administración para OAM&P.

Concatenación: Un término que se refiere a la vinculación de múltiples esquemas STS-1 para formar un sobre capaz de llevar Cargas

útiles de súper velocidad, tal como cuando SONET es usado para llevar células ATM.

Se hace referencia a un enlace SONET concatenado como un STS-3c un OC-3c, o cualquiera que sea el nivel SONET. Note que en *Tcarrier*, también existía una forma de concatenación y se hacía referencia a la misma agregando una letra “C”, como en DS-3C. Pero también note que en *Tcarrier*, el indicador de concatenación era siempre una “C” mayúscula, mientras que en SONET el indicador de concatenación es siempre una “c” minúscula. Este no es un ejemplo de cambiar solo por cambiar. La concatenación en SONET es fundamentalmente diferente que la concatenación hecha en *Tcarrier*. En SONET, la “c” significa realmente “no canalizado”.

Note que no todos los valores posibles de N son representados en SONET. Por ejemplo, no existe OC-5 o OC-7. Aunque el valor de N puede técnicamente tomar cualquier valor de 1 a 255, los estándares SONET definen solamente unos pocos niveles. De otra forma, habría potencialmente 255 tipos diferentes de equipo SONET, haciendo un chiste de la interoperabilidad sin importar la presencia de estándares. En $N = 255$, los enlaces SONET operarían a 13.2192 Gbps, una velocidad que el equipo óptico actual ya ha excedido en un buen grado.

La tabla I muestra que no todas las velocidades de SONET son soportadas. Parece extraño pensar en estándares a esta luz, pero el hecho es que los consumidores y vendedores de equipo han favorecido

algunas velocidades de SONET más que otras. A veces hay una razón técnica detrás de esta preferencia.

Por ejemplo, los vendedores de equipo anteriores encontraron que era realmente más efectivo con relación a costo construir equipo SONET operando en el nivel OC-12 que en el nivel OC-9 debido a los costos de chips láser y economías de escala. Poco equipo SONET OC-9 ha sido construido, mientras que el mercado del equipo OC-12 ha florecido.

Un único aspecto de la jerarquía SONET, contrario a la jerarquía de *Tcarrier*, es la relación entre las velocidades de los diferentes niveles dentro de la jerarquía. En SONET, una simple multiplicación por 51.84 Mbps produce la velocidad correcta en cualquier nivel de la jerarquía. El STS-3 opera tres veces más rápido que un STS-1, y $N \times 51.84 \text{ Mbps} = 155.52 \text{ Mbps}$. Esta simple multiplicación es un aspecto de la multitransmisión sincrónica entrelazada con relación a bits, y no puede ser hecha con otros sistemas como *Tcarrier*.

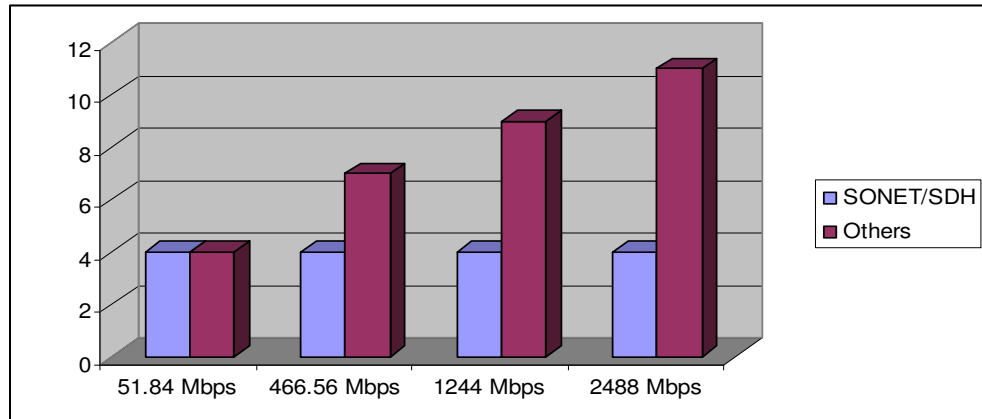
Por ejemplo, un esquema DS-3 contiene los bits combinados de 28 esquemas DS-1, dispersos a través de esquema DS-3, necesario para ubicar estos bits dispersos adecuadamente en el extremo receptor del enlace T-3. La escala de línea de 28 esquemas DS-1 combinados es solo $28 \times 1.544 \text{ Mbps} = 43.232 \text{ Mbps}$; sin embargo, un T-3 opera a 44.736 Mbps. Los bits extra son los *overheads* agregados de la estructura de esquema DS-3 (por ejemplo, C-bits, M-bits). Esto hace

una cantidad de $44.736 \text{ Mbps} = 43.233 \text{ Mbps} = 1.504 \text{ Mbps}$, que es casi un DS-1 agregado por sí mismo.

SONET/SDH, al contrario, no agrega *overheads* adicionales para nada en los altos niveles de la jerarquía de multitransmisión. Todos los *overheads* necesarios para la multitransmisión sincrónica entrelazada con relación a bits están presentes incluso en el nivel más bajo de la jerarquía, en el nivel STS-1. Por supuesto, el intercambio en altos niveles de *overheads* en los niveles más bajos por *overheads* no adicionales en los niveles más altos. Pero esto no es una ventaja insignificante, especialmente cuando se considera la necesidad de transportes de velocidad más y más alta. El porcentaje de *overheads* en SONET/SDH está fijado, mientras que el porcentaje de *overheads* sube continuamente en otros esquemas asincrónicos de multitransmisión. En SONET/SDH, el ratio de *overheads* para Carga útil (1.728 Mbps a 50.112 Mbps) permanece constante a 3.45%, sin importar el valor de N.

La figura 5 muestra el porcentaje de overhead's para Carga útil en SONET/SDH y varias escalas comunes de señal de línea basadas en $T_{carrier}$. La carga de la multitransmisión plesiocrónica asincrónica se vuelve obvia en las velocidades de líneas más altas. La ventaja de SONET/SDH se vuelve más pronunciada en estos niveles, los niveles realmente necesarios para los enlaces de red modernos.

Figura 5. *OVERHEAD* SONET/SDH



2.2 Distinción STS/OC

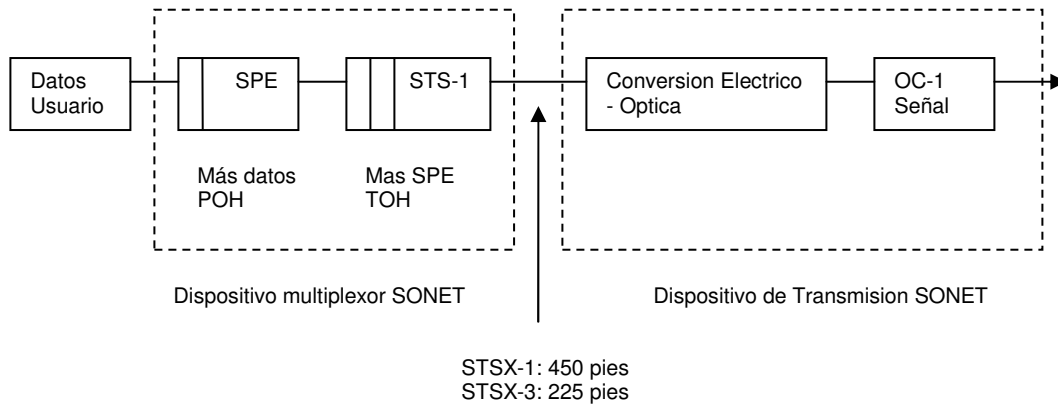
Unas palabras finales están en orden acerca de la distinción entre las designaciones STS y OC. El resto del esquema SONET después de los bits *overhead* es la Carga útil SONET en sí misma, mas comúnmente (pero menos exactamente) conocido como *datos de usuario*. Esta Carga útil puede ser información de la jerarquía existente de *Tcarrier* (por ejemplo, DS-1 y sucesivos), células ATM (si el enlace SONET estuviera concatenado, como un OC-3c), o incluso algo enteramente diferente (por ejemplo, video MPEG). La designación STS se refiere al lado eléctrico de SONET. Esto parece extraño al principio, porque SONET está por encima de toda la red óptica. Aunque el equipo de red moderno sobresale en el envío y recepción de bits en serie a través de un enlace de fibra óptica, lo

mismo no es cierto para cualquier otra tarea de red. Todos los esquemas SONET deben ser creados, multitransmitidos, manejados, y así sucesivamente.

Esto debe ser hecho en el mundo eléctrico, en lugar de en el mundo óptico. El usuario emisor al lado de la red de este proceso es ilustrado en la figura 6.

En la figura 6 los datos de usuario son enviados a un dispositivo multitransmisor STS-1 SONET. Este dispositivo agrega la Carga útil de ruta (POH) para producir un sobre de Carga útil sincrónica (SPE), y agrega los *overhead* de transporte (TOH) para producir el esquema completo STS-1 SONET. También se pueden combinar múltiples corrientes de datos de usuario. Después, del dispositivo multitransmisor SONET envía el esquema STS-1 a un dispositivo de transmisión SONET, que puede estar hasta 450 pies de distancia (una interfase STSX-1 en cobre para enlace inter-equipo para STS-1) o 255 pies de distancia (una interfase STSX-3 en cobre para enlaces inter-equipo para STS-3). Los múltiples multitransmisores SONET no pueden compartir un transmisor, aunque varias corrientes de datos de usuario pueden compartir un multitransmisor SONET, como en el caso cuando tres STS-1 están usando un STS-3 simple.

Figura 6. Distinción STS/OC



Por lo tanto, la jerarquía de multitransmisión, los formatos de estructuración, las funciones s *overhead*, y otros son referidos propiamente por la terminología STS. Un esquema STS-1 puede llevar una señal DS-3 de canal claro (44.736 Mbps o una combinación de señales de escala sub-DS-3, tales como DS-1 o DS-0). Otras posibilidades también se mencionaron anteriormente. Todas estas señales son eléctricas en origen.

Note que los límites de distancia son estrictamente impuestos por varios estándares en la distancia que las señales SONET pueden viajar eléctricamente. Las duraciones de bits en serie deben ser mantenidas lo suficiente para que el ruido eléctrico y la atenuación de frecuencia permanezcan mínimos. De otra forma, el manejo del tiempo se pierde y la estructura de esquema se degrada al punto en el que no se puede

encontrar en el equipo receptor. Las distancias son comparables a los límites de distancia DSX-3 y DSX-4 y no deberían ser una carga para los usuarios o vendedores de equipo.

Para la transmisión en enlaces de fibra óptica, la estructura STS-1 es convertida y el resultado es una señal de nivel 1 (OC-1) de carrier óptico. La señal OC es enviada después de mezclar para evitar largas cadenas de ceros y unos, y para habilitar la recuperación del reloj receptor de las transiciones en la corriente de datos entrantes. La terminología OC es típicamente usada cuando se discute el sistema de carrier en sí mismo, pero incluso los clientes raramente usan la terminología STS. La mayoría de usuarios y proveedores de servicio se refieren típicamente de igual forma a las velocidades SONET por las referencias OC.

Los puristas aun argumentan que ya que un OC-3, por ejemplo, es solo una corriente de bits no estructurada en serie, el termino concatenación debería ser aplicado adecuadamente solo al esquema STS-3c que maneja el OC-3. Pero la mayoría de proveedores de servicio y vendedores de equipo hablan y escriben felizmente acerca de "OC-3" o incluso "OC-3C" solo porque la terminología es más fácil. (Un vendedor SONET admitió etiquetar el equipo como "OC-3C" solo porque la impresora no tenía letras minúsculas). Los usuarios de SDH tienden a mirar esta controversia SONET y encogerse de hombros. Esto se debe a que SDH tiende a usar el termino STM tanto para las señales ópticas como para las señales eléctricas. Si debe surgir una confusión, los

términos STME-1 y STMO-1 podrían ser usados para indicar los aspectos eléctricos y ópticos de STM, respectivamente.

2.3 Estructura de Esquema STS-1

La piedra angular de la jerarquía de transmisión digital SONET es llamada el STS nivel uno, o esquema STS-1. El esquema SONET es una estructura de transmisión usada para transportar un paquete de bits a través de un enlace físico; por lo tanto, un esquema SONET existe en un nivel más bajo que las más bien conocidas estructuras de Ethernet o LAN *Token Ring*. Las estructuras en función, tales como la estructura de esquema T-1.

SDH no contiene un esquema STS-1 equivalente. Pero ya que un esquema STM-1 es bastante complejo, es común incluso en ambientes SDH hablar de un esquema Conceptual STM-0 idéntico a un STS-1 puramente para propósitos educativos.

El esquema básico SONET STS-1 consiste de 810 *bytes*, transmitido 8,000 por segundo (o una vez cada 125 microsegundos) para formar una velocidad de señal de 51,840 Mbps. Esta velocidad básica, la piedra angular de SONET, se deriva como sigue:

$810 \text{ bytes/esquema} \times 8,000 \text{ esquema/segundo} \times 8 \text{ bits/byte} = \text{velocidad de línea de } 51,840 \text{ Mbps.}$

En otras palabras, los 810 *bytes* de la estructura del esquema SONET son enviados 8,000 veces por segundo, y ya que cada *byte* consiste de 8 bits, la velocidad de señal en el enlace es de 51.84 Mbps.

La figura 7 muestra la estructura básica del esquema SONET en formato visual. El esquema STS-1 es 9 filas de 90 columnas; es siempre mostrado en este formato, de tal forma que los *bytes* de *overhead* se alinearan adecuadamente al principio de la estructura. El esquema STS-1 es transmitido una fila a la vez, de arriba hacia abajo, y de izquierda a derecha dentro de cada fila. Por lo tanto, el *byte* en la fila 1, columna 1 es enviado primero y el *byte* en la fila 9, columna 90 es enviado de ultimo. Después de que el 90^o *byte* es enviado al final de la fila 1, el siguiente *byte* enviado es el primer *byte* de la fila 2, el *byte* en la columna

Un esquema es enviado cada 125 microsegundos; por lo tanto, SONET puede mantener una sincronización de tiempo-slot que es requerida para la entrega de voz PCM no comprimida (8 bits 8,000 veces por segundo o 64 Kbps). SONET también se adhiere al manejo de tiempo de sincronización de esquema con los estándares de red asincrónica existentes (por ejemplo, D-S1, E-d1, y DS-3).

overheads, en este caso, los primeros tres *bytes* de la fila 2 del esquema SONET. Luego siguen los 87 *bytes* de Carga útil, y así sucesivamente a través del esquema completo de 125 microsegundos de tiempo.

La Carga útil SONET es llevada en el sobre de Carga útil sincrónica (SPE). La capacidad del sobre es 9 filas de 87 columnas (ya que las primeras 3 columnas en cada fila son de *overheads*). Esto hace un total de 783 *bytes* (9 filas x 87 columnas en cada área de fila para *overheads*). Esto hace un total de 783 *bytes* (9 filas x 87 columnas) de Carga útil en cada esquema, dando un total de velocidad de datos de usuario de: $783 \text{ bytes/esquema} \times 8,000 \text{ esquemas/segundo} \times 8 \text{ bits/byte} =$ velocidad de Carga útil de 50.112 Mbps.

Realmente, hay un poco más que esto en la estructura SPE. Por ejemplo, más *overheads*, llamados POH, están contenidos en la SPE pero son considerados parte de los datos de usuario. Sin embargo, esto debería ser suficiente para entender la estructura básica del esquema STS-1 SONET. La SPE, así como el esquema SONET completo que la contiene, es enviada 8,000 veces por segundo. Puntos mas detallados acerca de SPE y POH serán explorados mas adelante.

Las estructuras básicas del esquema STS-1 (y esquema STM-0 conceptual) son descritas abajo.

2.3.1 *Overheads* de Línea y Sección

El esquema STS-1 SONET transporta una cantidad considerable de *overheads* asociados con las funciones operacionales dentro de la red SONET. Las primeras tres columnas del esquema STS-1 están dedicadas a los *Overheads* de Sección (SOH) y *Overheads* de Línea (LOH), ejecutando una amplia variedad de funciones. Juntos, estos son considerados el TOH. Las primeras tres filas del TOH son los *Overheads* de Sección (SOH, nueve *bytes*). Las últimas tres filas del TOH son los *Overheads* de Línea (dieciocho *bytes*).

2.3.2 Capacidad de Sobre Sincrónico (Carga útil de Información)

Las 87 columnas restantes del STS constituyen la capacidad SPE. Es más preciso decir que estas 87 columnas representan la carga útil de Información SONET y que la SPE es la estructura de la carga útil de Información, pero usualmente solo se distingue a la SPE en sí misma.

2.3.3 Sobre de Carga útil Sincrónica

La SPE contiene tanto la información de *overheads*, llamada POH, y los datos de usuario reales. El POH, combinado con los datos de usuario (Carga útil) que sigue, constituye un SPE. El POH puede comenzar en cualquier posición de *byte* dentro de la capacidad SPE. Esto resulta típicamente en el traslape SPE dentro del siguiente esquema.

Debería notarse que la extensa cantidad de *overheads* en SONET es útil para la supervisión y el manejo de red, así como otras actividades.

Aunque criticado por *overheads* excesivos, el hecho que los *overheads* SONET no incrementen proporcionalmente en los niveles más altos de la jerarquía es una ventaja real.

Es fácil construir la estructura de un esquema en cualquier nivel de la jerarquía SONET una vez que se entiende el formato básico STS-1. Todos los esquemas SONET son enviados 8,000 veces por segundo. Todos los esquemas SONET son exactamente de 9 filas.

La única variable es el número de columnas. Esto puede sonar simple, pero es real y resulta en todas las diferentes velocidades a las que SONET opera.

Por ejemplo, un esquema STS-3 (que es lo mismo que un esquema STM-1) consiste de 9 filas y es enviado a 8,000 veces por segundo; sin embargo, un esquema STS-3 no tiene un ancho de 90 columnas. El esquema STS-3 es tres veces más ancho ($N=3$, después de todo). Por lo tanto, el esquema STS-3 tiene un ancho de 270 columnas, y eso no es todo. Las columnas de *overheads* STS-3 son también multiplicadas por tres, así como las columnas de capacidad SPE. Un esquema STS-3 tiene entonces 270 columnas de ancho (3×90), de las cuales las primeras 9 columnas son TOH (3×3) y las 261 restantes (3×87) son capacidad de Carga útil. El esquema STS-3 completo es de 2,430 *bytes* (9 filas x 270 columnas). La velocidad de línea para un OC-3, por lo tanto, debe ser:
 $2430 \text{ bytes/esquema} \times 8,000 \text{ esquemas/segundo} \times 8 \text{ bits/byte} = \text{velocidad de línea de } 155.52 \text{ Mbps.}$

El mismo resultado puede derivarse simplemente de multiplicar la velocidad de línea OC-1 de 51.84 Mbps entre 3. Por lo tanto, el “truco” de las estructuras y velocidades de línea de esquema SONET es que cada esquema es N veces más grande en términos de columnas que un esquema STS-1, así que la línea debe enviar una señal N veces más rápida que la velocidad de línea OC-1 para eliminar los mismos 8,000 esquemas por segundo.

Después de todo, los esquemas STS-3 pueden llevar cientos de muestras de voz digital, los cuales deben llegar cada 8000^o de segundo.

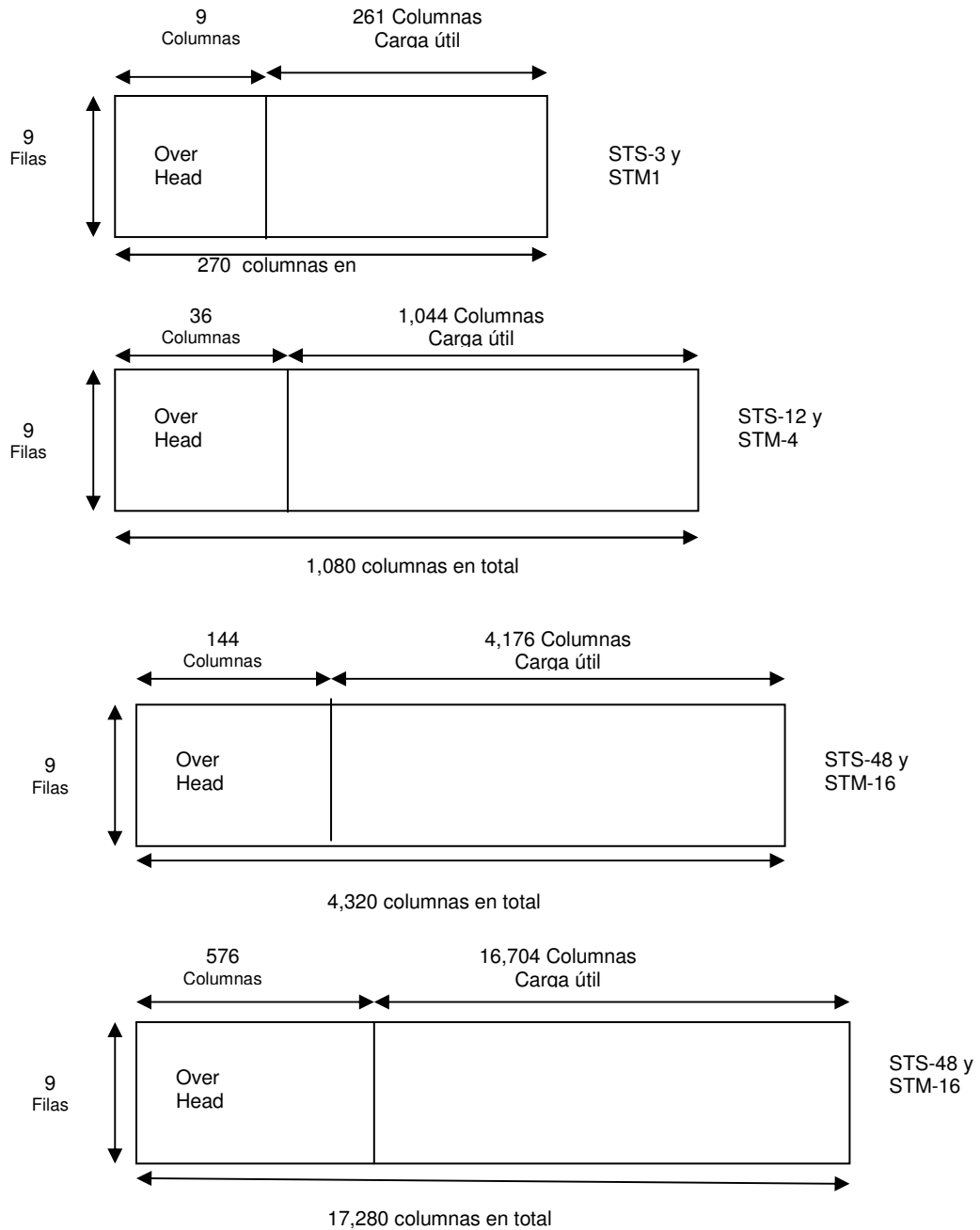
La figura 8 muestra algunas estructuras básicas de otros tipos de esquemas SONET comunes.

2.3.4 Mapeo SPE dentro de un esquema STS-1

Puede parecer obvio que el primer *byte* de la SPE debería ser el 4^o *byte* del esquema STS-1 SONET. Después de todo, si la SPE contiene los datos de usuario y la SPE es enviada 8,000 veces por segundo, ¿por qué la SPE no debería estar alineada con la estructura de esquema SONET en general? En un mundo perfecto, no habría respuesta a esta pregunta. Pero este no es un mundo perfecto, y los relojes usados en las redes para controlar el tiempo de las corrientes de bits no siempre cooperan y permanecen sincronizados. Por ahora, es suficiente señalar que la vibración y las diferencias de fase hacen difícil el arreglar la SPE dentro del esquema SONET en todos los casos y todas las veces. De

hecho, una insistencia en arreglar la SPE puede realmente ser tonta y ultimadamente contraproducente.

Figura 8. Estructura de esquema SONET/SDH (no a escala)



La SPE, por lo tanto, no tiene que estar alineada con la primera fila y la cuarta columna del esquema SONET. Todo depende de la fuente de tiempo y la configuración de la red SONET.

La figura 9 muestra como una SPE seria mapeada dentro de un esquema SONET cuando hay diferencias de fase entre las Cargas útiles entrantes y salientes. En palabras simples, esto determina como los datos de clientes son transportados en el sistema SONET.

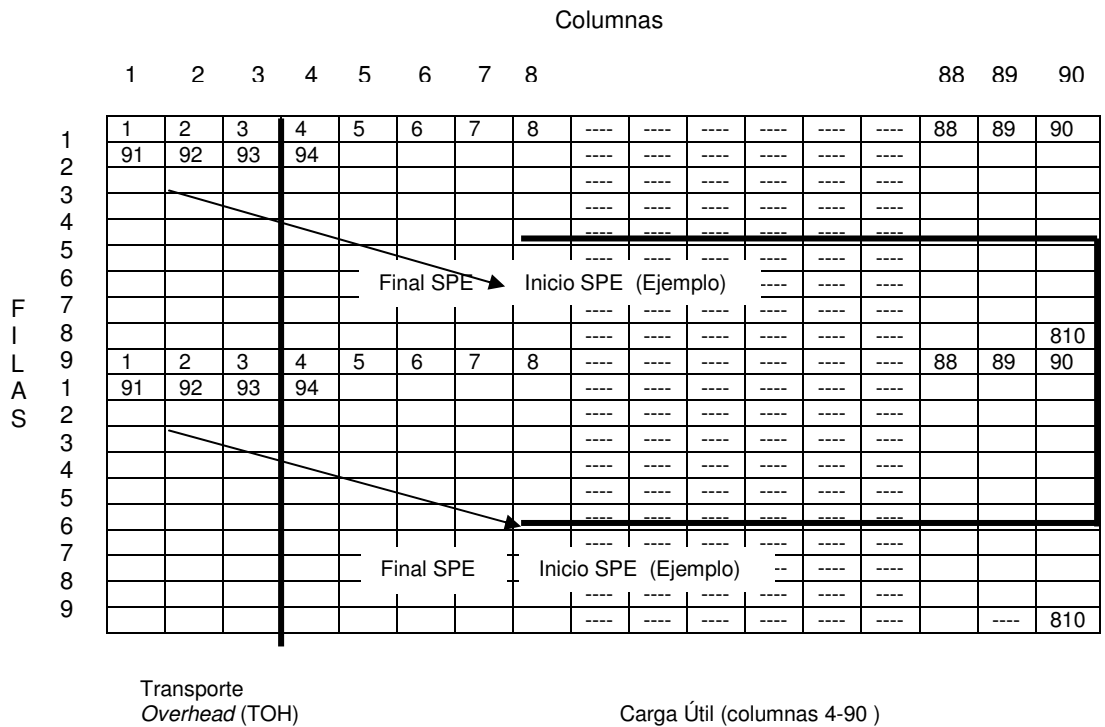
Estudie un poco la figura 9 Primero, la SPE no esta necesariamente alineada con el comienzo del esquema SONET. Esto se debe al hecho de que la SPE debe estar sincrónica con respecto al esquema con la Carga útil del cliente (que puede ser un CSU/DSU DS-3 u otro dispositivo CPE) y no el sistema SONET del proveedor de servicio. Esto solamente tiene sentido.

Un enlace SONET no genera ninguna Carga útil de sí mismo para transportar, pero lleva Cargas útiles de clientes de sitio a sitio a través del enlace SONET. Las diferencias de fase también ocurren en la multitransmisión de varias Cargas útiles de clientes hacia un enlace SONET de más alta velocidad, tal como cuando tres Cargas útiles STS-1 con combinadas en un enlace STS-3 simple.

La Carga útil del cliente es entonces mapeada a un sobre de Carga útil y el POH es agregado, formando una SPE. Esto es hecho por el dispositivo CPE en el sitio del cliente. La SPE es entonces mapeada a un esquema SONET. Una buena analogía es comparar la construcción SPE

para el funcionamiento de un CSU T-1 (una porción de la CPE de *Tcarrier*) y la construcción de esquema STS-1 para el funcionamiento de un DSU T-1 (otra porción de la CPE de *Tcarrier*).

Figura 9. Esquema de estructuras de algunos niveles comunes de SONET



El segundo ítem a notar en la figura 9 es que un mecanismo debe existir para encontrar la SPE en el lado receptor del enlace SONET porque la SPE esta separada del TOH por su posición dentro del esquema. Esto es, la SPE no esta mas fijada en la cuarta columna del esquema SONET pero puede ahora comenzar en cualquier punto dentro la sección de Carga útil de Información del esquema SONET. ¿Cómo puede la SPE ser encontrada por el equipo SONET receptor?

La respuesta es que los componentes del TOH (llamados “*bytes Apuntadores*”) identifican la posición del comienzo de la SPE dentro del esquema SONET.

Esto permite al equipo receptor de transmisión SONET alinearse con la corriente de transmisión entrante e identificar el comienzo de la SPE; de otra forma los *buffers* serían necesarios para retrasar el envío de la SPE hasta el comienzo del siguiente esquema SONET. Esto no suena mucho como una desventaja, pero los *buffers* serían bastante grandes en las velocidades SONET. Si una SPE estuviera lista para ser enviada a medias a través de un esquema SONET en promedio, entonces el *buffer* necesario sería la mitad del tamaño del esquema SONET. Esto es alrededor de 1,200 *bytes* en el nivel OC-3, pero la inmensa cantidad de 8,00 *bytes* o algo así en esquemas OC-192 o STS-192 son $9 \times 90 \times 192 = 155,520$ *bytes* de largo. Los *buffers* más canchales agregan *overhead* y complejidad en la forma de manejo de *buffer* al equipo SONET. Hoy en día, los *buffers* (memoria) son bastante baratos, pero este no fue el caso cuando SONET/SDH fue definido.

En la práctica, el retraso necesario para alinear la SPE entrante con el esquema SONET saliente es usualmente logrado una vez en el punto de entrada de la red SONET. Entonces para el resto de los enlaces hasta que la SPE emerja en el sitio del otro cliente, la SPE es fijada en la columna 4 del esquema SONET en la red SONET del proveedor de servicio. Este mecanismo “SPE flotante” también permite que el equipo SONET identifique los elementos de sub-escala incluso en las velocidades SONET mucho más rápidas.

El último punto en la figura 9 es el concepto que los esquemas SONET y las SPEs dentro de ellos son continuas. Por lo tanto, un dibujo realista de los sistemas de transmisión SONET mostraría los esquemas SONET y las SPEs antes y después de la secuencia mostrada en la figura. Esto es, el último *byte* de una SPE es inmediatamente seguido por el primer *byte* de la siguiente SPE, sin importar de donde la SPE puede aparecer en el esquema SONET.

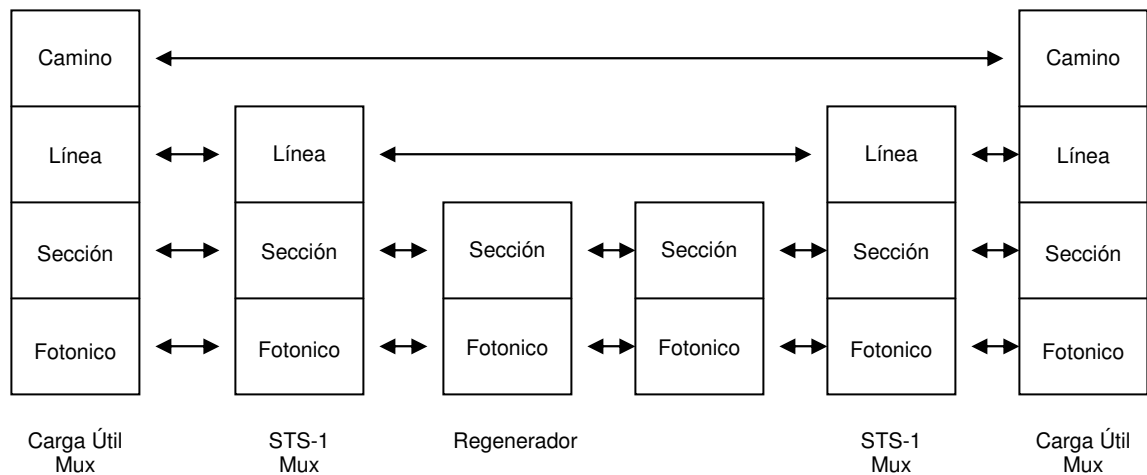
2.3.5 Niveles de Arquitectura SONET

SONET, como casi todo lo demás en las computadoras y telecomunicaciones de hoy, tiene una arquitectura de niveles. Los niveles ayudan a quebrar las tareas de comunicaciones en piezas más manejables, y puede equipar una cierta cantidad de flexibilidad para los implementadores haciendo los niveles más o menos funcionalmente independientes uno del otro. Por lo tanto, los vendedores tienen una cantidad justa de latitud al implementar las funciones del nivel internamente, siempre y cuando la interfase entre los niveles se mantenga en una forma estándar.

Aunque SONET tiene una estructura de niveles, es importante notar que SONET principalmente lidia con el Nivel Físico del modelo de referencia OSI (OSI-RM), similar a los servicios T-1 o T-3. En otras palabras, no existe relación entre los niveles SONET y los niveles del modelo de referencia OSI, excepto para la existencia de SONET en el nivel físico del OSI-RM.

Un nivel 3 en SONET no tiene relación al nivel (Nivel de Red) del OSI-RM. Hay cuatro niveles en la arquitectura SONET. Estos son mostrados en la figura 10. El nivel fotónico se refiere a las propiedades ópticas de la vía de transmisión, que envuelve el envío de los 0s y 1s seriales de un emisor a un receptor. El láser y LEDs SONET y sus dispositivos receptores apareados operan en este nivel. El nivel fotónico lidia con el transporte de bits a través de este medio físico. No hay *overheads* asociados con este nivel es solamente una corriente de 0s y 1s. La principal función de este nivel es la conversión de esquemas eléctricas STS dentro de señales de bit OC ópticas.

Figura 10. Arquitectura de Capas Sonet



Asociado con cada uno de los niveles restantes esta un conjunto de *bytes* de *overheads* que gobiernan la función de cada nivel. Estos *bytes* de *overheads* son lógicamente conocidos como SOH, *Overheads* de Línea (LOH), y POH. El SOH y LOH forman el TOH ubicado en las primeras columnas del esquema STS. Los bits POH están incluidos en la primera columna de la SPE.

El nivel de sección se refiere a la sección regeneradora del enlace de transmisión. En la transmisión de fibra óptica, como en la mayoría de esquemas digitales, los 0s y los 1s deben ser regenerados en intervalos bastante regulares. Por supuesto, la señal no necesariamente termina en este punto, por lo tanto, un enlace SONET simple puede tener regeneradores a cada 10 kilómetros o algo así en un enlace de 100 kilómetros. En este caso, cada segmento entre generadores forma una sección en SONET.

El nivel de sección maneja el transporte de los esquemas STS a través de la senda física, usando el nivel fotónico. Las funciones de este nivel incluyen monitoreo de error de sección, manejo de esquemas, mezcla de señales, y transporte de *overheads* de nivel de sección. Los *overheads* de nivel de sección consisten de nueve *bytes* de información que contienen la información requerida para que el nivel de sección ejecute sus funciones. Estos *overheads* son creados o usados por lo que se conoce en SONET como equipo de cierre de sección (STE).

El nivel de línea se refiere al periodo de mantenimiento. Un periodo de mantenimiento forma un segmento entre dos dispositivos SONET, excluyendo los regeneradores de nivel mas bajo. Un enlace SONET simple de un sitio de usuario a otro puede consistir de mucho de estos periodos. De hecho, mucho de la terminología que se refiere a enlaces SONET seria expresada más adecuadamente en términos de periodos SONET. Sin embargo, afuera de los grupos de ingeniería y mantenimiento de red SONET, el término periodo es raramente escuchado. Para la mayoría, una red SONET consiste de muchos enlaces SONET entre sitios. Sin embargo, el termino “mid-span meet” es un recordatorio constante de la importancia del concepto de periodo en las redes SONET, especialmente cuando el mantenimiento y la protección son considerados.

El nivel de línea maneja el transporte de las Cargas útiles SONET completas, que son rodeadas en una secuencia de esquemas STS, a través del medio físico. Las funciones del nivel de línea incluyen multitransmisión y sincronización, ambas requeridas para crear y mantener los *overheads* del nivel de línea de Cargas útiles SONET consiste de 18 *bytes* de información (dos veces el SOH) que provee al nivel de línea con la habilidad para ejecutar sus funciones, su habilidad para comunicarse con los niveles que los rodean, y para proveer ciertas características de protección y mantenimiento. Estos *overheads* son usados y creados por el equipo de cierre de línea (LTE) SONET.

Finalmente, el nivel de ruta cubre la transmisión de extremo a extremo. En este caso, extremo a extremo se refiere a la transmisión de cliente a cliente. Un extremo de la ruta esta siempre donde los bits de la Carga útil SONET (por ejemplo, SPE) se originan y el otro extremo de la ruta es siempre donde los bits de la SPE son terminados. Este puede no ser el dispositivo de usuario final real (tal como una estación o servidor de escritorio), pero usualmente se refiere a alguna clase de dispositivo de multitransmisión SONET. Tales dispositivos pueden combinar las corrientes de bits de muchos dispositivos de usuarios finales y enviarlas a otro sitio, donde las corrientes de bits son divididas en la CPE SONET compañera. El POH asociado con la ruta SONET es considerado como parte de la SPE por esta misma razón. El POH pasa sin cambiar a través de los niveles fotónico, de sección, y de línea SONET y es por lo tanto indistinguible de los datos de usuario al equipo SONET (pero el POH aun debe estar allí).

El nivel de ruta transporta servicios de red reales entre el equipo de multitransmisión SONET. Estos servicios incluirían el transporte de células de cliente DS-1, DS-3, ATM y así sucesivamente. El nivel de ruta mapea estos componentes de servicio en un formato que el nivel de línea requiere y luego se comunica de extremo a extremo, usando funciones hechas posible por los *bytes* POH (nueve en total) para asegurar la integridad de la transmisión en general. El POH permanece con los datos (Carga útil) hasta que alcanza el otro extremo del enlace SONET.

Conceptualmente, cada nivel SONET requiere los servicios de los niveles inferiores para ejecutar sus funciones adecuadamente. Si dos procesos de nivel de ruta estuvieran intercambiando una corriente de datos DS-3 de un sitio de cliente a otro a través de un OC-3, los tres niveles se complementarían el uno al otro en la siguiente forma: la señal DS-3 y los bits POH asociados serían encapsulados en una Carga útil SONET (SPE) y enviados al nivel de línea. El nivel de línea multitransmitiría varias señales (pero solamente el enlace es más grande que un OC-1, que solo puede encajar con un DS-3) del nivel de ruta y agregaría *overheads* de línea (LOH) a la mezcla. Enviaría entonces el elemento de señal al nivel de sección, que agregaría sus propios *overheads*, ejecutaría el manejo de esquemas y mezclas, y luego enviaría el esquema completo al nivel fotónico.

Los *overheads* en SONET serían totalmente desconocidos a aquellos que no tienen experiencia con *overheads* SONET de *Tcarrier* obedecen una estricta jerarquía en los tipos de equipo SONET, por lo tanto, puede ser una buena idea explorar estas relaciones antes de examinar las funciones de *byte* de *overheads* reales en detalle.

Muchos tipos de equipo SONET y las formas en que pueden ser combinados para proveer servicios SONET son explorados más tarde en este documento. Por ahora, es suficiente darse cuenta que algunos tipos de equipo SONET son designados para uso CPE, y por lo tanto deben generar los bits POH y el empaquetado SPE adecuados. Estos tipos de equipo son Equipo de Cierre de Ruta (PTE) en lenguaje SONET.

También es importante señalar que el CPE SONET debe formar también un punto de terminación para un periodo SONET (LOH) e incluso la sección (SOH). Es común en SONET, así como en *Tcarrier*, que el CPE también ejecute una función de regenerador. Obviamente, el CPE SONET debe formar y procesar todos los *bytes* de *overheads* de cualquier función.

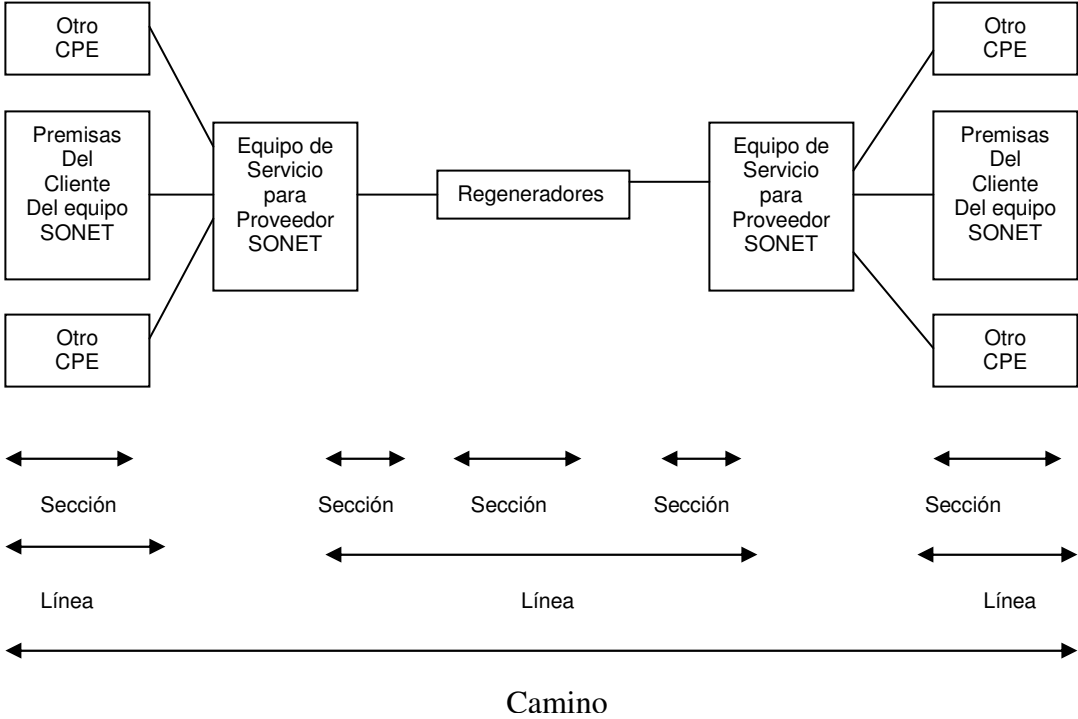
Otras piezas de equipo SONET tienen funciones más especializadas con relación a *overheads*. Por ejemplo, una señal SONET de usuario en el nivel OC-1 puede estar combinada con otros usuarios, quizá de otros sitios, para formar un OC-3 simple en la misma forma que 28 T-1s de varios usuarios pueden estar combinados por el proveedor de servicio para formar un T-3 simple. Los usuarios individuales POH no cambiarán, pero este LTE generará su propio LOH y SOH de una nueva estructura de esquema STS-3. Así que un STE ejecuta el procesamiento LOH y SOH en el periodo de mantenimiento.

En el nivel más bajo, cada segmento óptico entre cualquier emisor y receptor en SONET forma una sección. Los regeneradores examinan, procesan, y cambian el SOH, pero no tocan el LOH o POH. Esta jerarquía de *overheads* SONET, con diferentes piezas de equipo ejecutando diferentes funciones de *overheads* y secciones de cierre, líneas y rutas como sea requerido, es mostrada en la figura 11.

En la figura 11, dos dispositivos PTE se comunican al intercambiar Cargas útiles SONET a través de un enlace SONET.

Estos dispositivos CPE no solo cierran la ruta, sino también la línea y la sección. Una vez que la Carga útil de los usuarios llega a la red de proveedor de servicio, la Carga útil es típicamente combinada con las Cargas útiles de otros usuarios en la misma área geográfica. Por lo tanto, esta pieza de LTE SONET cierra la línea (periodo de mantenimiento) y la sección, pero no las rutas de usuario. Finalmente, cada generador a lo largo del camino cierra la sección, pero no la línea ni la ruta.

Figura 11. Jerarquía *Overhead* SONET



Entre cada componente, camino al generador, que ya no es relativamente el dispositivo pasivo como era en *Tcarrier*, el SOH SONET es cerrado, examinado y modificado. El LOH pasa sin ser cambiado a través del generador, pero es cerrado, examinado y modificado por lo que SONET llama los grandes componentes del enlace, que generalmente se traduce a todo menos a los generadores. El SOH también es procesado por estos grandes componentes.

Por supuesto, el POH pasa sin ser cambiado a través del enlace completo, de CPE a CPE. Todos los POH generados por un CPE llegan sin ser procesados ni cambiados en el otro CPE. Por lo tanto, la línea y POH son solo datos o más bits para las secciones y POH son solo datos o más bits para las líneas (por ejemplo, periodos de mantenimiento).

Debido a la naturaleza jerárquica de los *overheads* SONET, cada extremo de la línea es también un extremo de sección y cada extremo de ruta es también un extremo de línea y sección. Sin embargo, lo contrario no es verdadero; cada extremo de sección no es necesariamente un extremo de ruta. Por lo tanto, el procesamiento de *overheads* requerido varía en cada componente de una red SONET. Todo depende en la función exacta.

Una simple forma de referirse a los dispositivos SONET sin referencia a la terminología LTE o PTE es solo referirse a estos son elementos de red (NEs) SONET.

2.3.6 *Overheads* SONET

Los *overheads* en SONET son tanto una función distintiva de SONET así como un cambio bastante necesario de los métodos de *overheads* de *Tcarrier*. Esto refleja tanto los usos más ambiciosos para SONET y la naturaleza orientada a los *bytes* de SONET en sí mismo. Ya que los *bytes* de *overheads* en SONET juegan un rol tan importante en muchos de los capítulos que siguen, este es un buen lugar para diseñar las funciones de los *bytes* SOH, LOH, y POH en SONET. Muchas de estas funciones se entrecruzan porque hay componentes separados de sección, línea, y ruta en un enlace SONET que necesitan beneficios de *overheads* como monitoreo de error y protección de falla.

Durante esta discusión se mencionan las señales SONET compuestas. Cuando varias corrientes de datos SONET están multitransmitiendo a corrientes de datos de velocidad más alta (tal como de tres STS-1 a un STS-3 simple), la estructura de esquema SONET resultante es llamada compuesta. Cada esquema excepto una estructura STS-1 básica es un esquema compuesto de una forma u otra. El compuesto aun retiene todos los *bytes* de *overheads* de cada fuente de señal. Obviamente, una estructura STS-3 que tiene nueve columnas de TOH, en lugar de tres de cada uno de los STS-1, aun forma una unidad y no solo tres estructuras viajando juntas.

Por lo tanto, muchos de los *bytes* de *overheads* “repetidos” son esencialmente ignorados (“no definidos” en lenguaje SONET) en las estructuras compuestas. El conjunto completo de 27 *bytes* TOH es

retenido solamente en el primer STS-1 de cualquier compuesto. En los otros STS-1, todos los *bytes* TOH pueden estar presentes, pero muchos de ellos no son examinados ni procesados.

2.3.7 *Overhead* de Sección

El nivel de sección contiene información de los overheda usados por todo el equipo SONET a lo largo de una ruta de red, incluyendo los regeneradores de señal. Los *bytes* SOH son mostrados en la figura 12.

El SOH esta contenido en los tres *bytes* de arriba de las primeras tres columnas en la estructura de esquema STS-1 básica. Los nueve *bytes* constituyentes del SOH funcionan como sigue:

Figura 12. *Overhead* de Sección

A1	A2	J0/Z0 (STS-ID)
esquema	Esquema	Trazo/Desarrollo
B1/indefinido	E1/indefinido	F1/indefinido
BIP-8	Orderwire	Usuario
D1/indefinido	D2/indefinido	D3/indefinido
Data Com	Data Com	Data Com

Bytes de Esquematización (A1, A2): Este código de dos *bytes* (1111-0110-0010-1000, o F628 en notación hexadecimal) es usado para

alineación de estructura. Estos *bytes* únicamente identifican el principio de cada esquema STS-1 y no son mezclados durante el proceso de transmisión. La falta de mezcla hace su detección mucho más fácil, y hay poca probabilidad de que estos *bytes* contengan largas cadenas de 0s. Cuando se envían múltiples STS-Ns en un STS-N de velocidad alta, los *bytes* de esquemización aun deben aparecer en cada STS-1 de la señal compuesta.

Rastreo de Sección (J0): Este *byte* es usado para rastrear el origen de un esquema STS-1 mientras viaja a través de la red SONET. Mientras los esquemas SONET se abren paso a través de una serie de enlaces, los esquemas son generalmente multitransmitidos a niveles más y más altos, y luego más probablemente llevadas abajo otra vez mientras llegan a su destino. Muchos emisores procesan los esquemasas SONET, y crean nuevos paquetes para las SPEs adentro. Es obviamente algo extra ser capaz de rastrear el origen de un esquema STS-1 en particular a una pieza particular de equipo de cualquier punto en la red. El formato exacto de este campo es para un estudio futuro. Una posibilidad es que la fuente enviara la dirección de la red SONET del dispositivo origen en este campo un *byte* a la vez repetidamente; sin embargo, no se ha definido un estándar.

En el caso de múltiples STS-1 en un STS-N, el *byte* J0 esta definido solamente en el primer STS-1 porque todos los esquemas

deben venir del mismo dispositivo. En otros STS-1 en un STS-N, el uso de este *byte* es solo para Crecimiento (Z0).

Este *byte* de *overhead* solía ser conocido como el *byte* STS-1 ID (C1). Este *byte* sencillo fue usado para únicamente identificar el STS en cuestión. El intento era mantener rastro de cual estructura esta siendo transmitida a cualquier hora. El STS-1 ID era un número binario que corresponde cercanamente al número de esquemas STS-1 enviadas como un STS-N compuesto. Por ejemplo, si la señal enviada fuera un STS-1 sencillo, entonces el octeto sería 0000-0001 (01 en hexadecimal). Si un STS-N estuviera siendo enviado, el primero STS-1 dentro sería numerado como 0000-0010 (02 en hexadecimal), aparecido en cada STS-1 de un esquema STS-N. Sin embargo, mientras las velocidades SONET se acercan al límite de 13 Gbps o más allá, este número de 8 bits amenaza con limitar las velocidades a las que los enlaces SONET pueden ser desplegados. Por lo tanto, un rastreo de sección es un uso mucho mejor de este *byte*. Sin embargo, ya que es estándar completo para el uso de este rastreo de sección aun no está completo, el uso actual del *byte* J0 es el mismo que el uso del *byte* C1.

BIP-8 (B1): Un *byte* de paridad sencilla entrelazada es usado para proveer monitoreo de error STS-N. BIP es una abreviatura para paridad entrelazada con relación a bits. Ejecuta una revisión de

paridad justa de rutina en el esquema STS-1 previa, después de mezclar. La paridad es entonces insertada en el campo BIP-8 del esquema actual antes de mezclar; SONET depende de la paridad justa para sus cálculos de revisión de error. Durante la revisión de paridad, el primer bit del campo BIP-8 es preparado para que el número total de unos en las primeras posiciones de todos los octetos en el esquema STS-1 mezclado anterior sea siempre un número par. El segundo bit del campo BIP-8 es usado en la misma forma exactamente, excepto que ejecuta una revisión en los segundos bits de cada octeto, y así sucesivamente. Este octeto solo es definido en el primer esquema STS-1 de una señal STS-N compuesta.

Cable de Orden (E1). Este canal fue una sobra de los días de sistemas carrier de cable de cobre e históricamente estuvo disponible para el personal de producción para las comunicaciones de mantenimiento. En SONET, el canal es una ruta de voz a 64 Kbps usada para la comunicación entre terminales y regeneradores remotos. Un teléfono puede estar conectado en la ubicación repetidora en un jack de voz más o menos estándar, permitiendo al personal de producción acceso instantáneo de voz en el espacio de fibra. Este octeto esta definido solamente en el primer STS-1 de un esquema STS-N.

Es improbable que alguien use alguna vez los *overheads* de cable de orden en una red SONET, excepto en algunas áreas rurales, ya que todo el personal de producción usa teléfonos

celulares hoy en día, pero pareció una buena idea en aquel entonces.

Usuario (F1): La sección Canal de Usuario esta reservada para el uso por el proveedor de servicios de red para sus propias actividades de manejo de aplicación. Su diseño no esta especificado porque puede ser adaptado por el proveedor de servicio. F1 esta definido solamente en el primer STS-1 de un esquema STS-N. Actualmente, muchos vendedores de equipo SONET usan el *byte* F1, que opera a 64 Kbps, para configuración y comunicaciones de mantenimiento. Una implementación estándar del campo F1 no esta definida, dando a los vendedores mucha flexibilidad, pero interoperabilidad limitante.

Canal de Comunicación de Datos (DCG; D1-D3): Estos tres *bytes* son usados como canal de datos a 192 Kbps para las funciones de operaciones, tales como OAM&P. Estas capacidades constituyen una (sino la) ventaja primaria ofrecida por la tecnología SONET. Los DCC envían tales cosas como alarmas, datos de administración, información de control de señal y mensajes de mantenimiento. D1 a través de D3 están solamente definidos en el primero STS-1 de un esquema STS-N.

El uso de este canal debería cumplir con los estándares de la Red de Mantenimiento de Telecomunicaciones (TMN), tomara un buen tiempo antes de que las especificaciones sean ampliamente usadas. Varios

métodos de *interin* son usados actualmente. El DCC de línea es generalmente llamado el Canal de Operaciones Rodeadas (EOC) en SONET y el Canal de Comunicaciones (o Control) Rodeadas (ECC) en SDH.

2.3.8 *Overheads* de Línea

LOH esta contenido en los seis *bytes* inferiores de las primeras tres columnas. Estos *overheads* son procesados por todas las piezas del equipo SONET, excepto por los regeneradores. Los *bytes* LOH son mostrados en la figura 13.

Figura 13. *Overheads* de línea de SONET

H1	H2	H3
Apuntador	Apuntador	Apuntador

B2/indefinido	K1/indefinido	K2/indefinido
BIP-8	APS	APS
D4/indefinido	D5/indefinido	D6/indefinido
Data Com	Data Com	Data Com
D7/indefinido	D8/indefinido	D9/indefinido
Data Com	Data Com	Data Com
D10/indefinido	D11/indefinido	D12/indefinido
Data Com	Data Com	Data Com
S1/Z1 Sync Status/ Desarrollo	M0 o M1/Z2 REI-L Desarrollo	E2/indefinido Orderwire

Apuntador (H1, H2): El Apuntador H1 y H2 esta compuesto de dos *bytes* usados para indicar cambio entre los *bytes* de Apuntador en sí mismos y el principio de la SPE STS. Permite la alineación dinámica de la SPE dentro la capacidad permisible del sobre en sí mismo. En otras palabras, ya que la SPE puede comenzar en cualquier punto dentro de la Carga útil de Información en un esquema SONET (por ejemplo, en cualquier lugar pero no en los campos de *overheads*), seria agradable darle al receptor una pista de donde puede ser esto exactamente. Esto no quiere decir que las SPE andan saltando arriesgadamente.

Después de todo, debido a la vibración y a las diferencias de manejo de tiempo, el principio de la SPE puede moverse un *byte* hacia delante o hacia atrás dentro de la Carga útil de Información. Los *bytes* de Apuntador proveen un mecanismo

para que el emisor informe al receptor de la posición correcta de la SPE en todo momento.

Los trabajos internos reales de los *Bytes* H son precisos. Los primeros cuatro bits del *byte* H1 son llamados la nueva bandera de datos (NDF). La NDF permite a la posición del Apuntador cambiar cuando ocurre un cambio mayor en la posición SPE en la Carga útil. Cuando un nuevo valor de Apuntador se introduce, la NDF se invierte (en este caso 0110 cambia a 1001), pero los campos restantes permanecen igual. En esta forma, los *bytes* de Apuntadores H1 y H2 siempre señalan al primer *byte* de la SPE, que también es el principio de los *bytes* POH.

Los siguientes dos bits, que son ceros durante operación normal no tienen significancia, están simplemente para mantener el lugar.

Los siguientes diez bits, que traslapan los octetos H1 y H2, constituyen el Apuntador real. En operación normal, este campo de Apuntador puede tener cualquier valor entre 0 y 782 (el tamaño de esquema STS-1 menos los *bytes* de *overheads*).

Los valores más grandes de 782 no están definidos. Cuando el Apuntador es todo ceros (00000 000), esto indica que la SPE comienza inmediatamente a la derecha del octeto H3. Por ejemplo, un valor de 87 indica que la SPE comienza inmediatamente a la derecha del octeto K2, una fila abajo.

Acción de Apuntador (H3): el *byte* de acción de Apuntador es designado para compensar las variaciones de manejo de tiempo de la SPE mencionadas anteriormente. En el curso de lo que no sea operación normal, la escala de datos SPE entrante excederá la capacidad de esquema. Esto significa que dentro de un periodo de 125 microsegundos, más de 783 *bytes* pueden estar listos para ser enviados en una SPE. Si este exceso fuera de menos de 8 bits, los bits extra serían reunidos en un *buffer* secuencialmente y enviados como los primeros bits del siguiente esquema; sin embargo, cuando un *byte* completo (8 bits) se ha acumulado en el *buffer*, el *byte* de acción de Apuntador es usado para llevar el “extra” *byte* 784. Esto es llamado justificación negativa de manejo de tiempo y es gobernada por reglas estrictas de operación de equipo SONET. Naturalmente, una justificación positiva de manejo de tiempo es usada cuando 783 *bytes* completos no están en el *buffer* CPE para llenar la SPE exactamente.

El *byte* H3 debe proveerse en todas las señales STS-1 dentro de una señal STS-N. El valor contenido en este *byte*, donde no es usado para llevar los datos SPE de una justificación positiva, no es definido e ignorado. Los *bytes* de Apuntador H1 y H2 le dicen al receptor cuando el *byte* H3 es usado para información útil. Este *byte* es necesario debido a las variaciones en manejo de tiempo entre diferentes redes de

proveedores de servicio o cuando el manejo de reloj CPE alimenta un enlace SONET.

El mecanismo completo de SPE flotantes con los *bytes* H1, H2, y H3 es bastante complejo y muchos proveedores de servicio buscan minimizar su uso. En muchos casos, entonces, el valor de los *bytes* H1 y H2 es bloqueado a 522 (20A en hexadecimal), que señala a la fila 1, columna 4 del siguiente esquema SONET. Este método de bloquear la SPE a una posición fija en el esquema STS-1 minimiza las justificaciones de Apuntador, pero incrementa los requerimientos y mantenimiento de *buffer* frente a la continua vibración de manejo de tiempo.

BIP-8 (B2): Similar al *byte* B1, este *byte* BIP es usado para el monitoreo de error STS-1. Calcula el chequeo de paridad basado en todos los bits del LOH y de la capacidad del esquema STS-1 del esquema previo a la mezcla. Note que los *Overheads* de Sección son específicamente excluyentes, reflejando la naturaleza jerárquica de los *bytes* de *overheads* SONET. Entonces, el LOH coloca el BIP-8 en un campo B2 del esquema actual antes de que el esquema actual sea mezclado.

Este campo debe estar presente y usado en todos los STS-1 de una señal STS-N.

APS (K1, K2): estos dos *bytes* comunican comandos y condición de error de Switcheo de Protección Automática entre las piezas del LTE. Son específicamente usados para la recuperación del enlace

después de un fallo de red. Estos dos *bytes* son solamente usados en el primer STS-1 de una señal STS-N. El propósito y uso de los *bytes* K1 y K2 son de alguna forma flexible, pero son usados en muchas piezas del equipo SONET para cambiar las líneas en los anillos SONET. El *byte* K2 es también usado para detectar otros tipos de alarmas de nivel de línea en los enlaces SONET.

DCC (D4-D12): Estos *bytes* representan un canal basado en mensajes de 576 Kbps usado para enviar mensajes OAM&P entre equipo de red de nivel de línea SONET. Este canal usa los mismos protocolos como los usados en los componentes D1-D3 de SOH. Los mensajes típicos pueden ser para mantenimiento, administración, o alarmas y pueden ser ya sea internamente generados u obtenidos de una fuente externa. En algunos casos, pueden ser específicos del productor. Los *bytes* DCC solo están definidos en el primer STS-1 de una señal STS-N. Como con los *bytes* DCC de *Overheads* de Sección, se supone que se debe usar TMN. Sin embargo, los métodos ínterin tales como Lenguaje de Transacción (TL1) aun son generalmente usados hoy en día.

Estatus de Sincronización (S1): Este *byte* es usado para llevar el estatus de sincronización del elemento de red SONET. El uso de este *byte* es definido por el primer STS-1 de una señal STS-N. Solo los bits 5-8 están actualmente definidos, dejando los bits 1-4 para funciones futuras. El propósito es permitir al equipo SONET a realmente escoger la mejor fuente de manejo de reloj de entre

varias fuentes potenciales. Esto ayuda a evitar la creación de desastrosos loops de manejo de tiempo dentro de la red. El *byte* S1 no puede prevenir loops de manejo de tiempo todo por sí mismo, sin embargo. En otros STS-1 presentes en una STS-N, este *byte* es definido como *byte* de Crecimiento (Z1). Los *bytes* de crecimiento son usados para funciones futuras pero no está definido por los estándares SONET.

REI-L STS-1 (M0) o REI-L STS-N (M1): El uso de este *byte* es complejo y requiere alguna discusión de trasfondo. Los esquemas SONET pueden ser un STS-1 básico, o tener una estructura STS-N canalizada con N STS-1 dentro. Ya que existen dos estructuras de esquemas mayores, son necesarios dos propósitos para este *byte* de *overheads*. Todo depende si el STS-1 está solo o dentro de un STS-N.

Cuando el enlace SONET es un OC-1, que solo puede contener un STS-1 o un STS-1 eléctrico, entonces este *byte* es el *byte* M0. El *byte* M0 es usado para una función de Error Remoto de Nivel de Línea (REI-L), anteriormente conocido como el Error de Bloque de Extremo de Línea. Esto transmite el conteo de error de línea BIP-8 (B2) de regreso a la fuente. Los bits 5-8 del *byte* M0 son usados para este propósito, y los bits 1-4 no están definidos.

Al contrario, para una estructura de esquema STS-N, esto se vuelve bytes M1. No todos los STS-1 en una STS-N tienen el *byte* M1. Solamente el “tercer” *byte* STS-1 (como definido por la documentación SONET) en la STS-N llevara el *byte* M1. Obviamente, el valor de N debe ser tres o más. El *byte* M1 tiene el mismo propósito y función que el *byte* M0, con menores diferencias sobre el nivel STS-48.

Crecimiento (Z1, Z2): Cuando los dos primeros *bytes* de la última fila del esquema SONET no son usados para las funciones S1 y M0 o M1, estos *bytes* de *overheads* son definidos como *bytes* de crecimiento. Los *bytes* de crecimiento son reservados para funciones futuras, pero no definidos por los estándares SONET.

Cable de Orden (E2): Similar al *byte* E1, este es una canal de voz a 64 Kb por segundo. Solo esta definido en el primer STS-1 de una señal STS-N.

Overheads de Ruta: además de los datos de usuario, la SPE contiene *bytes* POH. Estos son procesados en el equipo terminal STS-1 SONET (usualmente CPE, pero no siempre) porque viajan como parte del sobre de Carga útil y son procesados en cualquier parte que este sea procesado. La SPE contiene nueve *bytes* de POH. Estos *bytes* forman una “columna” en la porción SPE del esquema SONET, lo que quiere decir que los *bytes* POH están siempre en una columna. Sin embargo, ya que la posición de la

SPE fue “flotar” dentro del área de Carga útil de Información del esquema STS-1, la posición de los *bytes* POH también puede flotar.

Rastreo de Ruta STS (J1): Este campo transmite una cadena repetida de longitud fija de 64 *bytes* que habilita al Equipo Terminal de Ruta para que verifique su conexión al dispositivo que envía la SPE. Este es un campo programable de usuario. Si ningún mensaje ha sido cargado por el usuario, entonces una cadena de 64 caracteres nulos es enviada. Este campo puede ser algo tan simple como la dirección IP o dirección E.164 (por ejemplo, número de teléfono) del dispositivo CPE. Ya que pocos clientes tiene equipo de *Tcarrier* retenedor de CPE SONET que solo alimente enlaces SONET, este campo es típicamente usado por el proveedor de servicio.

Cuando es usado por el proveedor de servicio, en la mayoría de los casos la compañía de teléfono local, el *byte* J1 contiene el código CLLItm (pronunciado “código tonto”) que significa Identificador de Ubicación de Lenguaje Común. El código CLLI tiene un largo de 8 a 11 *bytes* e identifica una Oficina Final (Oficina Central) particular dentro del sistema de teléfonos nacional. Ya que el código CLLI tiene mucho menos de 64 *bytes* de largo, los *bytes* J1 restantes son ruteados ceros y terminados con CR ASCII y alimentación de línea (LF).

Ruta BIP-8 (B3): la función de este campo es análoga a la de los campos BIP-8 de línea y sección. Usa paridad par y se deriva de la paridad de la SPE anterior antes de mezclar. Note que la línea y los SOH son específicamente excluidos, reflejando otra vez la naturaleza jerárquica de los *overheads* SONET.

Figura 14. Camino *Overhead* SONET

J1	Rastreo
B3	BIP-8
C2	Etiqueta de Señal
G1	Estatus de Ruta
F2	Canal de Usuario
H4	Indicador
Z3	Crecimiento
Z4	Crecimiento
Z5	Conexión en Tandem (Cadena)

Código Hex	Contenido SPE STS
00	No equipado (no usado para información en vivo)
01	Equipado -Carga útil no específica
02	Tributarios Virtuales (VTs) adentro ("default")
03	VTs en modo bloqueado (sin ningún soporte actualmente)
04	Mapeo DS-3 Asincrónico
12	Mapeo DS-4NA Asincrónico
13	Mapeo de célula ATM
14	Mapeo de célula DQDB
15	Mapeo FDDI Asincrónico
16	Mapeo HDLC sobre SONET (usado para IP)
CF	Valor "Experimental" para IP dentro de PPP
FE	Mapeo de señal de prueba (ver ITU Rec.G.707)

Etiqueta de Señal de Ruta STS (C2): la etiqueta de señal le dice al equipo de red lo que esta contenido en la SPE (por ejemplo, como esta construida). Esto permite el transporte de múltiples servicios simultáneamente. Esto significa que un dispositivo SONET simple puede realmente entrelazar esquema SONET (técnicamente las SPE) que contienen DS-3 con esquemas que contienen células ATM, o esquemas de datos de Interfase de Datos Distribuidos en Fibra (FDDI) y así sucesivamente.

El *byte* de etiqueta de señal C2 tiene una historia interesante y lleva un tipo de precaución para los vendedores e implementadores de SONET. SONET es esencialmente una tecnología de circuitos punto-a-punto. Esto es, SONET no switchea basado en el contenido de la SPE: las SPE puede estar conectadas en cruz, pero eso es todo. Así que fue una sorpresa para los vendedores de equipo cuando una etiqueta fue incluido en el POH para identificar el contenido SPE. Después de todo, el equipo final esta usualmente configurado para enviar y recibir un tipo de tráfico y no otro: de otra forma, simplemente no funcionara. Si un extremo esta configurado para enviar paquetes IP, y el otro extremo espera células ATM, eso es lo suficientemente fácil de encontrar y corregir.

Así que, ¿por qué molestarse etiquetando los contenidos SPE? El equipo final aun tiene que ser configurado independientemente de la etiqueta. La respuesta es que dados los inmensos anchos de banda que SONET/SDH puede ofrecer, fue visto como enteramente posible que, en un enlace SONET/SDH, el equipo podía llevar tanto paquetes IP como células ATM y muchas mas al mismo tiempo. Pero entonces el emisor tenía que decirle al receptor lo que había dentro de esa SPE en particular. Para eso fue inventada la etiqueta de señal.

Pero ninguno de los implementadores tempranos uso SONET/SDH para más que voz tradicional, que era llevado dentro de las SPE como Tributarios Virtuales (VTs). El valor de la etiqueta de señal para la mayoría de formas comunes de llevar VTs era 02 (0000 0010), así que se volvió efectivamente el valor por default para el *byte* C2 en mucho equipo SONET. No pudo incluso ser cambiado en muchos casos, pero el equipo corrió muy bien ya que estaba configurado para manejar IP o células ATM y no se molestó en verificar el *byte* C2. Sin embargo, una vez que las especificaciones SONET (y SDH) maduraron al punto en que la no-coincidencia de la etiqueta de señal con el tipo de tráfico generaba una alarma, los nuevos NE SONET entraron en una condición de alarma (o incluso se ponían a sí mismos fuera de servicio) si el valor del *byte* C2 no coincidía con el tipo de tráfico SPE. Muchos vendedores tenían que actualizar o hacerle parches a su software rápidamente.

La moraleja de la historia es que ignorar una especificación sólo porque no está actualmente reforzada puede ser una proposición riesgosa. Esto es especialmente verdadero para los estándares internacionales.

Estatus de Ruta (G1): Este campo notifica al extremo origen del la ejecución y estatus de ruta de la ruta dúplex completa. Lleva dos señales de mantenimiento, el conteo de error B3, conocido como el Indicador de Error Remoto de Ruta (REI-P), antiguamente llamado Ruta FEBE, en los bits 1-4, y un Indicador de Defecto Remoto de Ruta (RDI-P) en los bits 5-7. Esto permite que la ruta completa sea monitoreada desde cualquier extremo. Los bits restantes no están definidos.

Canal de Usuario de Ruta (F2): este campo, como su primo línea/sección, puede ser usado por el proveedor de red para comunicaciones de red interna. El *byte* F2 también es usado en un caso raro para llevar información de Manejo de Nivel generada por las redes de Bus Dual de Cola Distribuida (DQDB).

Indicador (H4): este campo es usado cuando un esquema esta organizado en varios mapeos. Los mapeos determinan la estructura real de la porción de la SPE que lleva los datos de usuario. Uno de los mapeos más comunes es tributarios virtuales. Varios tipos de tributarios virtuales están definidos, pero todos existen para proveer algún grado de compatibilidad hacia atrás para los enlaces SONET. Con los tributarios virtuales, es posible que los usuarios tengan un T-1 en cada extremo de la línea privada, pero con SONET en el medio. SONET transporta tributarios virtuales tan fácilmente como células ATM o algo mas, usando diferentes mapeos.

En las redes ATM, el *byte* indicador era usado para denotar fronteras de célula, pero este uso es ahora oficialmente “no recomendado” (para lenguaje ITU “totalmente obsoleto”). Esta característica permitía a SONET transportar tales servicios de suplemento de células como B-ISDN (ATM).

En las redes DQDB, el *byte* indicador es usado para llevar información de estatus de enlace.

Crecimiento (Z3-Z5): estos *bytes* están reservados para uso futuro.

Sin embargo, en una DQDB el *byte* Z3 es usado para llevar más información de manejo de nivel DQDB.

Conexión en Cadena (Z5): aunque aun se considera un *byte* de crecimiento por Bellcore/Telcordia, ANSI ha definido el *byte* Z5 para el uso como Canal de Mantenimiento de Conexión en Cadena y una Ruta DCC. Una cadena (tandem) es una oficina de switchhead que switchea entre circuitos y, por lo tanto, no tiene dispositivos CPE en el extremo de los enlaces. Esto puede ser un problema con el manejo de la SPE porque no ocurre contacto directo con el originador de la SPE. Finalmente, la Ruta DCC ejecuta las mismas funciones que los DCC de Línea y Sección.

La figura 15 muestra todos los *bytes* de *overheads* SONET juntos.

2.4 Apuntadores de Carga útil SONET

Seguramente la parte más confusa de cualquier discusión de *overheads* SONET son los Apuntadores de Carga útil. Los Apuntadores de Carga útil son una de las grandes innovaciones, y maldiciones, de SONET. Tienen dos funciones primarias. Primero, son usados para sincronización de multitransmisión en un ambiente plesiocrónico. El requerimiento de sincronización de multitransmisión tiene que ver con la naturaleza de *bytes* entrelazados de la multitransmisión SONET. Ya que el relleno de bits no es usado en SONET, solo los *bytes* completos pueden ser multitransmitidos y enviados en un esquema SONET. La presencia de *bytes* extra, o la ausencia de *bytes* en una CPE, forzara a SONET a cambiar la posición de la SPE dentro del esquema STS. Los Apuntadores de Carga útil son usados para ayudar a los receptores a entender todo esto.

Figura 15. SONET *overhead*

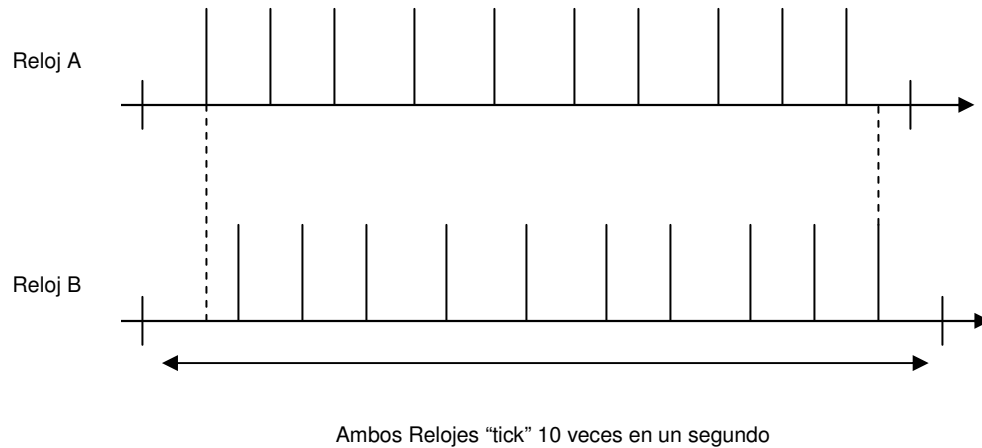
A1	A2	J0/Z0 (STS-ID) Trazo/Desarrollo	J1 Rastreo
enmarcando	enmarcando		B3 BIP-8
B1/indefinido	E1/indefinido	F1/indefinido	C2 Etiqueta de Señal
BIP-8	Orderwire	Usuario	G1 Estatus de Ruta
D1/indefinido	D2/indefinido	D3/indefinido	F2 Canal de Usuario
Data Com	Data Com	Data Com	H4 Indicador
H1	H2	H3	Z3 Creci- miento
Apuntador	Apuntador	Apuntador	Z4 Creci- miento
B2/indefinido	K1/indefinido	K2/indefinido	Z5 Conexión en Tandem (Cadena)
BIP-8	APS	APS	
D4/indefinido	D5/indefinido	D6/indefinido	
Data Com	Data Com	Data Com	
D7/indefinido	D8/indefinido	D9/indefinido	
Data Com	Data Com	Data Com	
D10/indefinido	D11/indefinido	D12/indefinido	
Data Com	Data Com	Data Com	
S1/Z1 Sync Status/ Desarrollo	M0 o M1/Z2 REI-L Desarrollo	E2/indefinido Orderwire	

¿Qué es un ambiente plesio-crónico? Plesio-crónico es una palabra acuñada por ITU para referirse a casi todo excepto SONET, que es parte del SHD ITU. Para el ITU, el *Tcarrier*, carrier E, y cualquier otra cosa mas son parte de la jerarquía digital plesio-crónica (PDH). Oficialmente, las señales son consideradas plesio-crónicas si sus “instantes significantes ocurren nominalmente a la misma velocidad”, con alguna variación restRingida a límites especificados. Esto es bastante similar a decir que dos relojes idénticos e igualmente exactos hacen “tic” 59, 60, o 61 veces por minuto (variaciones restRingidas a límites especificados).

Pero incluso cuando ambos hacen exactamente 60 “tics” en el mismo minuto (instantes significantes ocurren nominalmente a la misma velocidad), puede haber diferencias de fase entre los dos. Dentro de un intervalo dado de un segundo, el reloj A puede hacer “tic” al principio del intervalo, mientras que el reloj B puede hacer “tic” hacia el final del intervalo. Aun hay 60 “tics” por minuto, pero no está garantizado que los dos relojes hagan “tic” en el mismo “instante”. Este concepto es ilustrado en la figura 16.

En otras palabras, la señal de manejo de tiempo de una red tiene vibraciones y desviaciones, pero por la mayor parte permanece dentro de los límites predefinidos, aunque la fase aun puede variar. La PDH es “algo” sincrónica; sin embargo, incluso SONET no es totalmente plesio-crónico.

Figura 16. Dos relojes igualmente exactos con diferencia de fase



2.5 Cargas útiles de Súper Velocidad en SONET

Hemos afirmado varias veces que un esquema STS-N SONET contiene N STS-1. Esto es solo otra forma de decir que SONET está tan canalizado como $T_{carrier}$. Por lo tanto, un DS-1 contiene 24 DS-0 cada uno operando a 64 Kb por segundo. Sin embargo, ya que un DS-1 simple opera a 1.5 Mbps, quizá las necesidades del usuario sería mejor enfocadas con un canal simple operando a los 1.5 Mbps, en lugar de 24 canales cada uno operando a solo 64 Kbps. Esto es, por supuesto, lo que un T-1 descanalizado hace para un usuario.

Técnicamente, el término debería ser no canalizado, pero todos dicen descanalizado.

Esta necesidad puede ser aun más crítica en SONET. Las velocidades sin precedente disponibles en SONET son capaces de resolver varios problemas del usuario, sin embargo, no cuando un OC-3 operando a 155.52 Mbps es solamente útil con tres STS-1 corriendo a 51.84 Mbps. Un enlace SONET descanalizado es necesario. Esto daría al usuario solo una velocidad de bit crudo de 155.52 Mbps (menos los *overheads* STS-3). Por supuesto, tal estructura de esquema descanalizado sale en SONET pero, en SONET, estas son conocidas como esquemas SONET concatenados que dan al usuario una Carga útil de súper velocidad ya que la velocidad es ahora más grande que los usuales 51.84 Mbps.

Usando carritos para representar los esquemas STS-1, se puede hacer una comparación entre la multitransmisión canalizada de los esquemas SONET para lograr velocidades de transmisión mas altas, y la concatenación descanalizada de los esquemas SONET, que lleva a la creación de sobres de Carga útil más grandes que operan a las mismas velocidades mas altas. Esto es mostrado en la figura 2.13.

En la parte de arriba de la figura 17, los esquemas STS-1 son transmitidos a una velocidad de 8,000 cuadros por segundo. Esto resulta en una velocidad de datos de 51.84 Mbps. Para construir las estructuras de esquemas STS-N que operen más rápido, los esquemas STS-1 pueden ser multitransmitidos (al entrelazarlos con relación a los *bytes*) y estos nuevos esquemas más grandes aun son transmitidos a una velocidad de 8,000 por segundo.

La parte media de la figura muestra tres STS-1 multitransmitidos juntos para crear un STS-3. Note que aunque los STS-1 son multitransmitidos en un STS-3 simple enviado en un OC-3, el STS-1 aun son considerados tres corrientes de esquemas independientes y cada uno tiene su propio conjunto de Apuntadores de Carga útil. Toda la información de usuario debe encajar dentro de un SPE de esquema STS-1, y los esquemas son simplemente multitransmitidos antes de la transmisión para que las altas velocidades de la fibra pueden ser usadas mas eficientemente. Esto es igual que multitransmitir 28 DS-1 a un DS-3. La corriente de bits del usuario original es aun menos que o igual que la velocidad DS-1. El DS-3 permite velocidades más grandes en los medios de transmisión, pero eso es todo.

En la parte de debajo de la figura 17, se ilustra la concatenación SONET. Aquí, los tres esquemas STS-1 son “pegados” (concatenados) para crear una estructura de esquema grande simple, que, en este caso, es llamada una STS-3c. Note la presencia de la “c” minúscula. Esto permite que la gente sepa que esta lidiando no con tres esquemas STS-1 dentro de un STS-3, pero con una estructura de Carga útil de esquema STS simple.

Ya que los esquemas individuales están concatenados, una SPE esta presente y esta solo tienen un conjunto de Apuntadores de Carga útil. La concatenación es usada cuando los datos son muy rápidos para encajar dentro de un esquema STS-1. Los esquemas más grandes necesitan ser creados para esta situacion.

Esto es similar a proveerle a un cliente un DS-3 que no esta canalizado - es una gran tubería de 45 Mbps. Note que un DS-3 descanalizado se mira igual que el DS-3 conteniendo los 28 DS-0, pero la estructura interna del esquema no es nada igual.

Figura 17. SONET Cargas Útiles de súper velocidad

STS-1:

STS-1	STS-1	STS-1	STS-1
-------	-------	-------	-------

8000 "carritos" por segundo (51.84 Mbps)

STS-3:

STS-1	STS-1	STS-1	STS-1
STS-1	STS-1	STS-1	STS-1
STS-1	STS-1	STS-1	STS-1

8000 "carritos triples" por segundo (155.52 Mbps)

STS-3c:

STS-3C	STS-3C	STS-3C	STS-3C
--------	--------	--------	--------

8000 "carritos concatenados triples" por segundo (155.52 Mbps)

2.6 SPEs STS-3

Ya que los STS-3 canalizados son la regla más que la excepción, la estructura de esquema STS-3 contiene un número de características diseñadas expresamente para combinar tres STS-1 en una Carga útil simple.

Primero, la estructura de esquema en general se deriva por simplemente multitransmitir los tres STS-1 de entrada en un *byte* simple a un tiempo hacia adentro de la estructura de esquema STS-3 saliente. Por supuesto, este esquema STS-3 en general es aun de 9 filas, pero tiene 270 columnas (90x3). El efecto de esta multitransmisión basada en *bytes* es entrelazar efectivamente las columnas de los STS-1 salientes.

Por lo tanto, la 1^a, 4^a, 7^a, y así sucesivamente hasta la 268^a columna del esquema STS-3 se deriva totalmente de los *bytes* del primer STS-1. De igual forma, la 2^a, 5^a, 8^a, y así sucesivamente hasta la 269^a columna del esquema STS-3 se deriva totalmente de los *bytes* del segundo STS-1. Naturalmente, la 3^a, 6^a, 9^a, y así sucesivamente hasta la 270^a columna del esquema STS-3 se deriva totalmente de los *bytes* del tercer STS-1. Ya que las primeras tres columnas de los STS-1 son los *bytes* de *overheads* SONET, el resultado neto es que las primeras 9 columnas son Carga útil de Información derivada de los tres STS-1 salientes.

Hay tres conjuntos de *bytes* de *overheads*, y tres Cargas útiles entrelazadas con relación a las columnas, en cada esquema STS-3. Ya que la revisión de error y muchas otras funciones de *overheads* SONET solamente tienen que hacerse una para el esquema STS-3 completo, los *bytes* de *overheads* como los *bytes* APS K1/K2 BIP-8 de Sección B-1 no son definidos e ignorados excepto en el “primer” STS-1 del STS-3 (columnas 1, 4, y 7).

También, ¿qué se debería hacer cuando dos campos de error no concuerdan, tales como los BIP-8 de Sección B1? Su estatus no definido claramente resuelve el problema. La estructura general de los esquemas STS-3 es mostrada en la figura 18.

La figura 18 muestra un STS-3 normal, completamente canalizado con los tres STS-1 dentro. Note que hay un esquema (el esquema STS-3), pero tres conjuntos de Cargas útiles y *overheads* (las tres Cargas útiles STS-1). Por lo tanto, hay tres conjuntos de Apuntadores de Carga útil en vivo y tres POH completamente separado. Por supuesto, aun es posible bloquear las tres Cargas útiles STS-1 al principio del esquema STS-3, como con los STS-1 individuales; sin embargo, esto introduce un gran retraso y entonces requiere el uso de *buffers*.

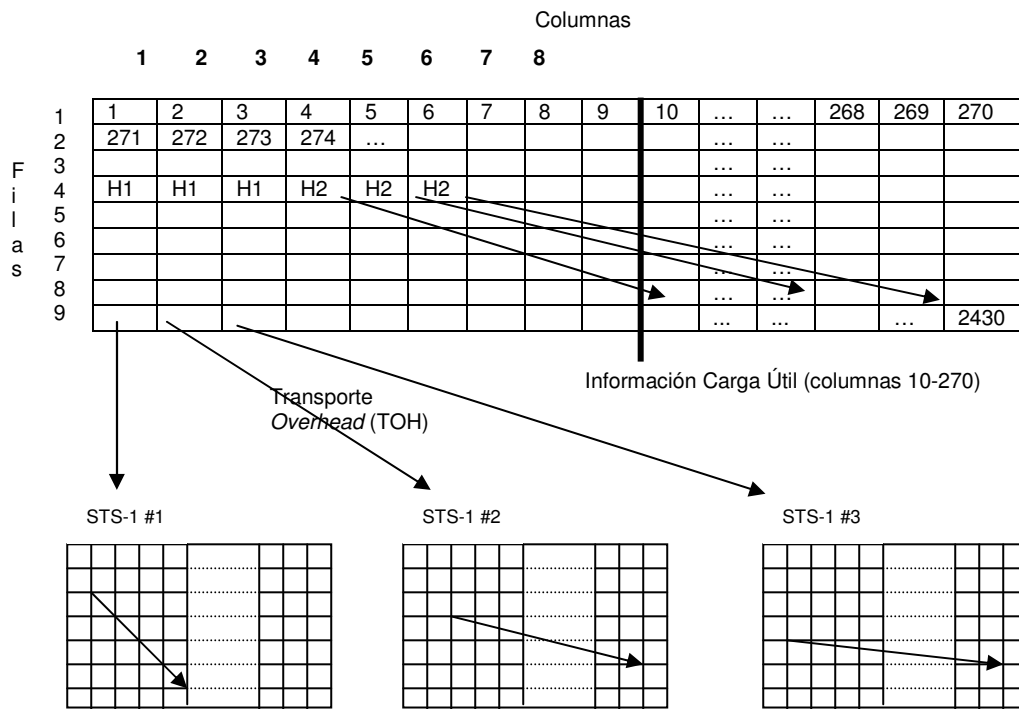
La multitransmisión ocurre por columnas, como es usual, y los tres conjuntos de columnas son explotados hacia fuera del esquema STS-3 en la figura 18.

2.7 SPE STS-3c (OC-3c)

Tan bonito como es combinar tres STS-1 en un STS-3 simple para la transmisión a través de un enlace de fibra OC-3 simple (que no es el punto), esto provee poca ventaja al cliente. Muchos clientes no necesitan tres STS-1, pero si un STS-3 simple operando a 155.52 Mbps (incluyendo *overheads*) para satisfacer sus necesidades de ancho de banda.

Afortunadamente, SONET permite la creación de STS-3 descanalizados, así como otras velocidades. En SONET, este proceso es conocido como concatenación; por lo tanto, un STS-3 concatenado es un STS-3 descanalizado y contiene no tres, pero una SPE. La designación de un STS-N concatenado se hace para agregar una “c” minúscula al mismo. Así que un STS-3 concatenado se vuelve un STS-3c.

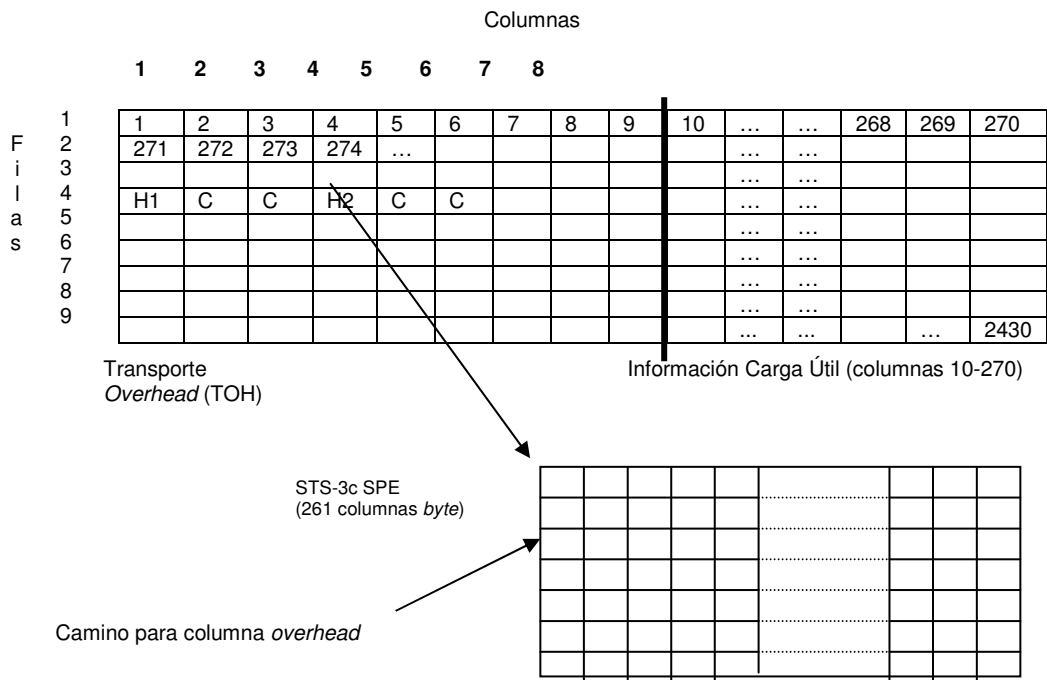
Figura 18. Estructura de esquema STS-3



Es importante distinguir la “c” minúscula SONET en términos de función de la C mayúscula usada en *Tcarrier*. Ambas significan concatenación, pero cada una usa el término en un sentido diferente. Un FT-3C, por ejemplo, son dos T-3 transmitiendo en fibra “pegada”. Pero aun hay dos T-3 distintos, cada uno operando a 45 Mbps.

No existe diferencia ya sea si es canalizado a 28 T-1 o no. Dos corrientes de bits aun operan a 45 Mbps. Sin embargo, en SONET, un STS-3c esta estrictamente descanalizado en una corriente de bits simple operando a 155.52 Mbps. Hay 9 columnas de *overheads* (los *overheads* se quedan en SONET, no importa que), pero solamente una SPE que abarca las 261 columnas de la Carga útil de Información.

Figura 19. Estructura de esquema STS-3c (OC-3c)



Es técnicamente adecuado solamente hablar de un OC-3 como el transporte físico para ya sea un STS-3 o STS-3c. Después de todo, a los emisores y receptores no les importa nada acerca de la presencia o carencia de estructura en los esquemas que transfieren.

Sin embargo, así como la gente *Tcarrier* viene a hablar de un T-1 como un termino general para DS-1 y mucho más, la gente SONET ha venido a hablar de OC-3c para indicar que los esquemas STS-3 enviados en el enlace son esquemas STS-3c; referidos ya sea como STS-3c o OC-3c, la estructura es la misma.

La figura 19 muestra la estructura de un esquema STS-3c o OC-3c. La concatenación es indicada al poner valores especiales en los Apuntadores H1/H2 (llamado el indicador de concatenación) donde los Apuntadores del otro STS-1 estarían ordinariamente posicionados. El valor de concatenación no es un valor de Apuntador valido (por ejemplo, no entre 0 y 782); por lo tanto, no existe confusión sobre los receptores. Obviamente, solamente hay una SPE, así que un conjunto de Apuntadores H1/H2 bastara. Ya que solamente existe una SPE, solamente se necesita un conjunto de *bytes* POH. Pero aun esta la primera columna de la SPE. Como con las SPE STS-1, los Apuntadores H1/H2 deben señalar al primer *byte* del POH.

La SPE puede aun estar configurada y bloqueada dentro de la columna 4, pero esto es otro asunto. Hay sin embargo, un punto importante con relación a la conducta del Apuntador cuando se permite que la SPE se mueva dentro del esquema STS-3c. Mucha gente rápidamente observa que la SPE STS-3c simple puede empezar en cualquier punto dentro de las 261 columnas de la Carga útil de Información; la SPE nunca puede ocupar las posiciones de columna de *overheads*.

Esto da 9 filas x 261 columnas = 2,349 o 2,359 posiciones de inicio potenciales; sin embargo, el Apuntador H1/H2 es un campo de 10 bits simple con valores validos solamente hasta 782. Los otros campos H1/H2 se pierden para los indicadores de concatenación. ¿Cómo pueden entonces los valores de 0 a 782 indicar posiciones de inicio de 0 a 2,348?

La respuesta es realmente un truco muy limpio. El equipo receptor SONET no puede distinguir entre un esquema STS-3 entrante o un esquema STS-3c, excepto por la presencia de los indicadores de concatenación. Cuando estos indicadores son detectados, el indicador de concatenación básicamente le dice al receptor que incremente los valores de los Apuntadores H1/H2 en las primeras posiciones de *overheads* (columnas 1 y 4) por un factor de 3. Por lo tanto, una salida H1/H2 de 1 realmente significa 3 y una salida de 782 realmente significa 2,346. El problema esta resuelto perfectamente. (Debería notarse que los Apuntadores SDH pueden operar en una forma totalmente diferente – y usualmente lo hacen. Por supuesto, el equipo SONET emisor también tiene un rol que jugar en este esquema. El emisor no debe reunir los datos de 8 bits antes de mover los valores de Apuntador de Carga útil como antes, sino de 24 bits (3 *bytes*). La reunión de datos en un *buffer* también se incremente por un factor de 3. Cuando los Apuntadores SPE STS-3c SONET se ajustan a sí mismos, ya sea positiva o negativamente, lo hacen en unidades de 3 *bytes*. Por ejemplo, un valor de 2,346 puntos a la última unidad de 3 *bytes* del esquema SONET. La idea es simple y efectiva.

Como se ha dicho, un STS-3c tiene solamente una SPE simple, que no puede ser usada para transportar DS-1 o DS-3 existentes (para eso están los STS-1). Así que ¿qué de bueno tiene un STS-3c? El STS-3c fue creado expresamente para el transporte de células ATM como parte de una red B-ISDN. Esto corresponde al STM-1 en la jerarquía SDH. De hecho, la especificación B-ISDN ITU inicial para el transporte de células ATM no tiene provisiones para el transporte de células ATM a velocidades mas bajas de 155.52 Mbps. El ancho de banda necesita velocidad por encima de eso.

2.8 Cargas útiles de velocidades más bajas

Una de las ventajas del estándar SONET es que transportara todas las señales existentes de velocidad más alta, tales como DS-3. Un STS-3c puede llevar una corriente de células ATM, pero ¿qué acerca de las señales de velocidad más baja de la jerarquía *Tcarrier*? Parece una perdida usar una tubería de 51.84 Mbps solo para transportar una Carga útil de 1.5 Mbps.

Este concepto puede ser visualizado al extender el ejemplo de carrito introducido para ilustrar las Cargas útiles de súper-velocidad. Para Cargas útiles de sub-velocidad, cada carrito puede ser dividido en secciones, o tributarios virtuales. Cada tributario virtual puede contener cualquier tipo de datos de velocidad más baja; por lo tanto todos necesitan contener el mismo tipo de información DS-1s, CEPT-1s, y Ds-2s podrían todos estar en un carrito, que es el esquema STS-1 básico.

En SONET, cada esquema STS-1 esta dividido en exactamente siete grupos de tributarios virtuales (VTGs), y es todo o nada. Un esquema STS-1 simple no puede tener, por ejemplo, solamente cuatro grupos VT y usar el resto de la Carga útil para algo más (como transporte de células ATM). Ya sea que el esquema STS-1 sea o no cortado y seccionado en exactamente siete grupos VT.

La figura 20 muestra este proceso VTG. Para propósitos de ilustraciones, la figura muestra solamente tres VTGs un carrito simple puede ser dividido en secciones para el transporte de diferentes tipos de cosas.

Figura 20. Cargas útiles de velocidades mas bajas

Carga útil STS-1

VT1.5: (Sección DS-1)	VT2: (Sección E-1)	VT6: (Sección DS-2)
-----------------------------	-----------------------	------------------------

2.8.1 Tributarios Virtuales

Hay cuatro tamaños de tributario virtual actualmente definidos en SONET. Estos están listados abajo.

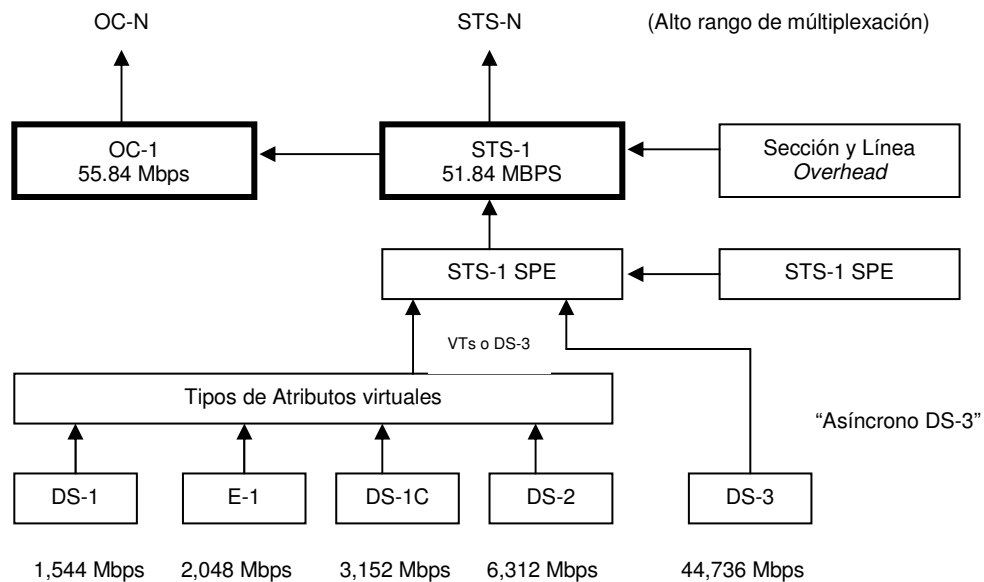
- **VT 1.5:** lleva suficiente ancho de banda para transportar una señal DS-1 de 24 DS-0 a 64 Kb por segundo. Cada uno esta contenido en tres columnas de 9 *bytes* (27 *bytes*).
Un VTG simple puede llevar 4 VT-1.5
- **VT 2:** lleva suficiente ancho de banda para transportar una señal E-1, de 2048 Mbps. Esta contenido en cuatro columnas de 9 *bytes* (36 *bytes*).
- **VT 3:** lleva suficiente ancho de banda para transportar una señal DS-1C. Esta contenido en seis columnas de 9 *bytes* (54 *bytes*).
- **VT 6:** lleva suficiente ancho de banda para transportar una señal DS-2. Esta contenido en doce columnas de 9 *bytes* (108 *bytes*).

Los siete VTGs en un esquema STS-1 consisten de 108 *bytes* cada uno. Ya que cada columna en un esquema SONET tiene 9 filas, cada VTG ocupa 12 columnas. Ahora, 7 VTGs de 12 columnas cada uno ocupan 84 de las 87 columnas de la SPE. Una de estas columnas de “sobra” es el POH, que debe estar presente. Las otras dos columnas están reservadas y actualmente no tienen función definida en una SPE dividida en VTGs.

El mapeo de varias Cargas útiles de velocidad mas baja hacia adentro de un Tributario Virtual es mostrado en la figura 21.

Hay una complaciente simetría en los mapeos VT. Ya que cada VTG consiste de 12 columnas de Carga útil SPE, los cuatro mapeos VT pueden ser llevados en un VTG simplemente al variar el numero de columnas usadas. Por ejemplo, una señal DS-1 a 1.544 Mbps puede ser llevada por 3 columnas de una SPE. Tres columnas tienen 3×9 o 27 *bytes*. Ya que cada esquema DS-1 tiene 24 *bytes* mas un bit de esquema, hay mucho espacio en estos *bytes* que son usados para *overheads* VT. Por lo tanto, cuatro VT1.5 pueden ser llevados en un simple VTG (12/3).

Figura 21. SONET con Cargas útiles VT



Esto es especialmente bueno porque los 28 DS-1 dentro de un DS-3 simple pueden ser llevados por un STS-1 eficientemente (cuatro DS-1 por VTG, y 7 VTGs por STS-1).

Debería notarse que un DS-3 puede ser mapeado directamente hacia adentro de un STS-1 sin preocupación por ningún DS-1 adentro. Esto es llamado DS-3 asincrónico, y no está cubierto por el mapeo VT, como se muestra en la figura 21.

Una lógica similar a aquella empleada arriba revela que un E-1 operando a 2.048 Mbps puede ser llevado por 4 columnas de un VTG, un DS-1C puede ser llevado por 6 columnas, y un DS-2 puede ser llevado por 12 columnas. Felizmente, 3, 4, 6 y 12 son todos factores de la columna VTG, así que las cosas encajan bastante bien.

La capacidad máxima de un STS-1 usada para Tributarios Virtuales depende de la estructura de los VTGs. Cualquier VTG puede técnicamente llevar cualquiera de los tipos VT de sub-velocidad (por ejemplo, VT1.5, VT2), pero es mucho más común ver STS-1s usados para un tipo de Tributario Virtual, especialmente DS-1, por supuesto.

La tabla II muestra la capacidad STS-1 cuando se usa con varios tipos de VT. La tabla lista cada tipo VT y cual tipo de señal PDH y velocidad representa. La tabla muestra después el número de *bytes* (siempre múltiplos de columnas de 9 filas) necesitados para transportar la señal sub-velocidad. Luego es dado el número de este tipo VT en cada VTG de 108 *bytes* (12 columnas). Finalmente, se da el número total de señales de tipo VT en un esquema STS-1, ya que cada STS-1 puede llevar exactamente 7 VTGs.

Tabla II. Capacidad virtual del tributario

Tipo VT	Señal PDH	Velocidad	VTG/Bytes	#/vTG	#/STS-1
VT1.5	DS-1	1,544 Mbps	27	4(4x27=108)	28
VT2	E-1	2,048 Mbps	36	3(3x36=108)	21
VT3	DS-1C	3,152 Mbps	54	2(2x54=108)	14
VT6	DS-2	6,312 Mbps	108	1(1x108=108)	7

Un simple STS-1 empleado para llevar Tributarios virtuales puede llevar 28 DS-1, 21 E-1, Ds-1Cs o DS-2. Por supuesto, es posible hacer mapeos mas sofisticados. Varios proveedores de servicio han planeado llevar un par de DS-2 en algunos VTGs y usar el resto de VT1.5. Por ejemplo, 3 VTGs podrían llevar 3 DS-2s, mientras que los otros 4 VTGs podrían llevar un total de 16 DS-1s (4 DS-1s por VTG). Esta flexibilidad es una bonita característica de los Tributarios Virtuales SONET.

Es importante notar que cada uno de los grupos VT hace un total de 108 cada uno. Ya que hay exactamente 7 grupos VT en cada esquema SONET sub-velocidad, la diferencia en la capacidad del tributario virtual es el número total de tipos VT en cada grupo VT de 108 *bytes*. Un VT1.5 tiene 4 DS-1s, pero un VT3 tiene 2DS-1Cs, ambos en un paquete de 108 *bytes*. Por supuesto, los tipos VT no pueden ser mezclados dentro de un VTG simple.

Una característica importante de los tributarios virtuales es que pueden ser agregados o quitados de la SPE sin desmultitransmitir. Esta capacidad resulta de tener Apuntador en los *overheads* del tributario virtual.

2.8.2 Súper esquema VT

Un par de problemas potenciales existen con los mapeos VT que aun no han sido descritos. Por ejemplo, un DS-1 consiste de más que solo series de esquemas DS-1 uno detrás del otro. Los esquemas DS-1 están más organizados en una serie de 12 esquemas o 24 esquemas conocido como un súper esquema. Cuando un DS-1 es transportado hacia adentro de un VTG STS-1, es importante no solo preservar la estructura del esquema DS-1, sino también la estructura de todo el súper esquema. Hay otras consideraciones relacionadas con las diferencias del manejo de tiempo, pero el resultado final es que cuando un STS-1 es usado para el transporte de VTGs, una secuencia de cuatro esquemas STS-1 (realmente la secuencia SPE) se considera un súper esquema VT.

Un asunto inmediato tiene que ver con la identificación del número de secuencia del súper esquema VT por parte del receptor. Obviamente, este número de secuencia debe ser puesto dentro de un campo de *overheads* SONET en algún lugar. La solución era básicamente reinterpretar algunos de los *bytes* de *overheads* SONET cuando el enlace era usado para transportar VTGs. Por lo tanto, el Apuntador POH H4 SONET ahora empieza a lidiar con una estructura que incluye un campo de 2 bits indicando cual esquema de una secuencia de súper esquema VT de 4 esquemas esta siendo enviado.

La estructura de súper esquema VT esta naturalmente rodeada dentro de una secuencia de cuatro SPEs SONET. Los *bytes* de *overheads* VT también están asociados con el súper esquema VT. La estructura del súper esquema VT hace esencialmente una mímica de la operación general del esquema STS-1 y la SPE. Es decir, así como es permitido que las SPEs floten dentro de un esquema STS, es permitido que los VTs dentro un VTG flote dentro de un súper esquema VT. Así como con una SPE, la pregunta es como permitir a un receptor encontrar estos VTs flotantes.

La respuesta es crear *bytes* de *overheads* VT adicionales para que sirvan como Apuntadores para la posición inicial de Carga útil VT. Cuando se usa para transportar VTGs, el primer *byte* después del *byte* J1 POH en cada SPE se vuelve V1, V2, V3, y V4, siguiendo al contador 0-1-2-3 en el campo de numero de secuencia de súper esquema VT H4. Los *bytes* V1, V2, V3 y V4 sirven como Apuntadores de Carga útil y hacen una mímica de la conducta de los *bytes* de Apuntador H1, H2, H3 y H4 en el esquema STS-1.

Considere como un ejemplo el transporte de DS-1s dentro de VTGs en un STS-1. Ya que el esquema DS-1 puede comenzar en cualquier punto en la secuencia de 108 *bytes*, es importante dejarle saber al receptor donde es esta posición.

Así que los *bytes* V1 y V2 forman apuntadores en el principio del súper esquema DS-1. Otro *byte* de *overheads* VT marca esta posición, el *byte* POH VT V5. El *byte* V5 contiene una versión a escala del monitoreo de error disponible en el TOH STS-1, pero es aplicada a los VTs en este caso.

También hay otros tres *bytes* de *overheads* VT. Documentación temprana se refirió a estos *bytes* como V6, V7 y V8. Los documentos SONET actuales llaman a estos *bytes* J2, Z6, y Z7. Otros documentos los llaman incluso los *bytes* J2, N2 y K4. En este documento, se usara la terminología J2, Z6 y Z7.

Solo para hacer los *overheads* SONET más confusos, existe documentación más antigua, mayormente de ANSI, asignando funciones a los *bytes* POH Z3, Z4 y Z5 de especificación Telcordia. Este documento principalmente sigue las especificaciones Telcordia, pero se debe hacer mención de los usos alternativos de estos *bytes* POH.

El *byte* Z3 es llamado el *byte* F3 en algunos documentos. Estos forman otro canal de comunicaciones de ruta de vendedor (o usuario), así como con el *byte* F2. El *byte* Z4 es también llamado el *byte* K3, con funcionalidad completa aun no ejercitada. Pero por extensión, se intenta alguna forma de switcheado de protección, por analogía a los *bytes* K1 y K2 en los *overheads* de línea.

Solamente el uso del *byte* POH Z5 es único para las especificaciones ANSI actuales. Este es llamado el *byte* N1, o *byte* de conexión en cadena. Un *tandem* es una oficina de switcheado de circuito-a-circuito que también es generalmente usada para que los carriers de intercambio de larga distancia (IXCs) se vinculen con las redes SONET locales de los carriers de intercambio local (LECs. El problema en el nivel de ruta es que los enlaces SONET pasando de un IXC directamente a un sitio de cliente no permite que la información de error y estatus del CPE llegue al IXC a través de los *overheads* de sección y línea. Así que el *byte* N1 en el POH resuelve muy bien el problema, ya que los *overheads* de ruta pasan a través de la red LEC sin ningún cambio. Hay un conteo de error y un canal de comunicaciones rodeado para permitir acceso directo a la CPE dentro del *byte* N1. Telcordia, como Bellcore, representando solamente LECs, dejaron correctamente la definición de esta función en manos de ANSI.

Una comparación de los *bytes* de *overheads* STS-1 y sus contrapartes de súper esquema VT es mostrada en la Tabla III. En la tabla, las funciones de los *bytes* de Apuntador STS-1 son listadas primero H1, H2 y H3 corresponden exactamente a las funciones V1, V2 y V3. V4 es reservado para funciones futuras. En el área de *byte* POH, VT no tiene contraparte exacta en el mundo POH STS-1; sin embargo, J2 en la contraparte J1, y si N2 y K4 se vuelven completamente estandarizados, serán las contrapartes de los *bytes* POH STS-1 K3 (Z4) y N1 (Z5).

Tabla III. Comparación de *Overhead* STS-1 y VT

Esquema	Bytes Puntero	Camino de Bytes Overhead
STS-1	H1 H2 H3 H4	J1, B3, C2, G1, F2, H4, Z3, Z4, Z5 (N1)
BVT	V1 V2 V3 V4	V5, J2, Z6 (N2), Z7 (K4)

2.8.3 Modo Bloqueado y Flotante VT

Un rápido entendimiento de los Tributarios Virtuales no es fácil de lograr. Viniendo inmediatamente después de la nueva terminología de STS-1 en sí mismo, el vocabulario de los VTs no está agregado fácilmente. Sin embargo, los VTs mantienen una consideración importante de la compatibilidad SONET con los enlaces digitales existentes.

Además de los mapeos VT, SONET define dos diferentes modos de operación VT. Estos son llamados modo bloqueado y modo flotante.

La forma más fácil de entender los dos es recordar que, dentro de un esquema STS-1, una SPE puede flotar y comenzar casi en cualquier punto dentro de la Carga útil STS-1, excepto en las columnas OTH. El valor de los *bytes* de Apuntador H1 y H2 indica esta posición; sin embargo, también es posible bloquear la posición SPE para comenzar siempre en la fila 1, columna 1 del esquema STS-1. En este caso, el valor de los Apuntadores H1 y H2 es siempre 522 por supuesto, mas trabajo de *buffer* debe ser hecho en las Cargas útiles para asegurar que la SPE siempre comienza en esta posición.

De la misma forma se debe hacer con los VTs. Los VTs flotantes minimizan el retraso y el tamaño de *buffer* necesarios para cargar los VTs hacia adentro de una Carga útil STS-1. Pero el modo bloqueado es obviamente atractivo por simplicidad y menos actividad intensa del procesador. El truco es hacer el modo bloqueado fácil de implementar; esto no ha resultado ser el caso. Bloquear cosas tales como DS-1s hacia adentro de una posición fija dentro de un VT1.5 ha probado ser extremadamente difícil, debido principalmente a las variaciones de tiempo en la jerarquía digital de *Tcarrier*. Por ahora, es suficiente señalar que el modo VT bloqueado no está soportado (disponible) actualmente en los estándares SONET, aunque continúa en ser definido. En el modo VT bloqueado, el *byte* de Apuntador V3 no es usado porque la ubicación de Carga útil VT no puede moverse.

Para hacer las cosas más complejas, junto con los tipos de mapeo VT simples (por ejemplo VT1.5), la documentación SONET define tres formas diferentes en las que cada tipo VT puede ser mapeado en los VTGs de una SPE dentro de un esquema STS-1. Estas son asincrónica, sincrónica con relación a bits, y sincrónica con relación a *bytes*.

Las tres formas son distinguidas por importantes consideraciones de manejo de tiempo, como se puede inferir por sus designaciones. Por ahora, todo lo que se necesita entender es que cada una tiene beneficios específicos para los implementadores y clientes por igual.

Los modos para bloquear son atractivos, pero caros y ningún modo flotante es actualmente el más fácil, este modo hace más difícil encontrar contenidos de Carga útil VT, tales como DS-0s. El modo flotante sincrónico con relación a *bytes* hace más fácil encontrar DS-0s en cualquier parte, en cualquier momento, pero es el más demandante desde un punto de vista de manejo de tiempo porque cada DS-1 VT1.5 debe empezar un esquema exactamente al mismo tiempo. El modo flotante sincrónico con relación a bits es un poco menos demandante desde el punto de vista de manejo de tiempo porque cada DS-1 dentro de un VT1.5 puede empezar un esquema en diferentes instantes. El equipo sincrónico con relación a bits, sin embargo, necesita más *buffers* que el equipo sincrónico con relación a *bytes* para manejar las diferencias en los tiempos de llegada de esquemas.

Generalmente, el equipo SONET más común para el transporte VT debería ser equipo VT flotante sincrónico con relación a *bytes*.

3. SONET SINCRONIZACIÓN Y TIEMPOS

3.1 SINCRONIZACIÓN DE RED

La presencia de apuntadores en la sección de sobrecarga de SONET y sus tributos virtuales fue introducido brevemente en el capítulo anterior. Se hizo alguna mención de las diferencias en la fase del reloj y el movimiento irregular (*jitter*), pero el capítulo no incluía una exploración profunda de los tiempos y la sincronización SONET. Este capítulo es el lugar adecuado para investigar esta característica más distintiva de SONET. La necesidad de apuntadores con la carga necesaria en SONET esta relacionada a las diferencias en tiempo (o intercambiamente, información de reloj) en las redes digitales modernas.

Puede ser una sorpresa para muchos que la sincronización de red es importante en redes de líneas privadas, en donde SONET es el corazón, por supuesto. Muchas organizaciones despliegan y/o rentan líneas privadas con $T_{carrier}$ y nunca han considerado el asunto de sincronización de red o la distribución de la información de tiempo (o solo “el reloj” para muchas) entre las muchas piezas del equipo $T_{carrier}$.

Aun así, la red parece correr bien por un número indefinido de días. Otras organizaciones han agregado unas cuantas piezas de equipo $T_{carrier}$ a una red ya funcionando y repentinamente han experimentado problemas que la organización nunca ha encontrado antes.

Usualmente después de mucho rascarse la cabeza y encoger los hombros, términos como “loops de tiempo” y “nivel incorrecto” empiezan a abrirse camino en los reportes de los expertos en la situación. Sin embargo, un momento mas tarde, en otra organización con la misma cantidad de enlaces de *Tcarrier*, tales problemas no se encuentran jamas. ¿Qué esta pasando aquí?

Claramente, en esta situación hay más de lo que se ve. ¿Que hay acerca de una red de línea privada que hace el manejo del tiempo tan critico, mientras que otra no tiene necesidad de preocuparse acerca del tiempo? Todo depende de lo que la red este tratando de cumplir.

Un entendimiento verdaderamente completo de los requisitos de tiempo de la red por parte de mucho personal de telecomunicaciones es casi tan común como un entendimiento verdaderamente completo por parte de muchos electricistas instalando el cableado de telecomunicaciones en un edificio. Mas electricistas saben que a menos que un alambre de cobre número 6 sea instalado desde la consola de comunicaciones a una tubería de agua u otra tierra adecuada, la distribución del cableado en el edificio no funcionara adecuadamente. Sin embargo, una explicación completa e intuitiva de porque se debería hacer esto está raras veces disponible de parte de los electricistas involucrados. Esto no es para subestimar la experiencia de los instaladores del cableado, que es considerable y más que adecuada para la tarea. Más apropiadamente, el punto es que el manejo del tiempo en la red, como la tierra adecuada, rara vez se vuelve un asunto tan crítico.

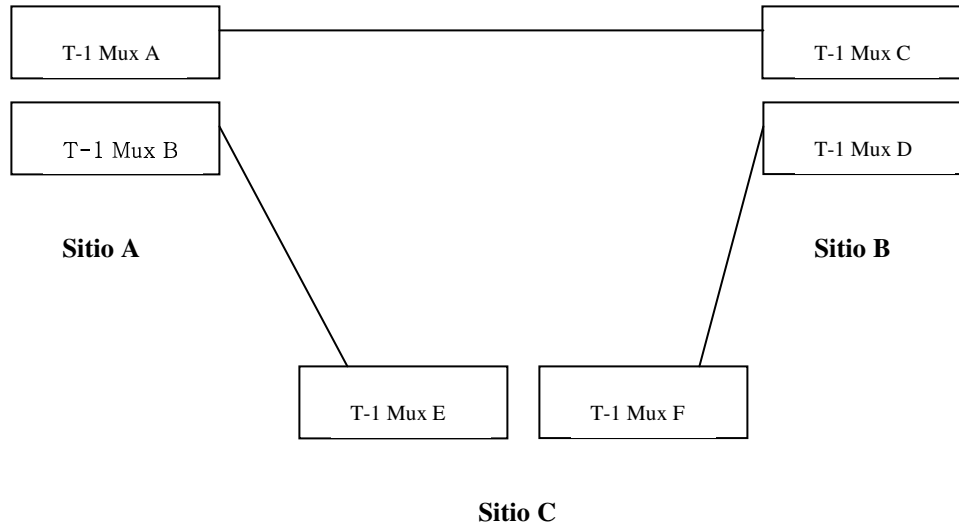
A propósito, ponerle tierra a una consola de comunicaciones provee un camino de regreso, para las señales normales de corriente directa, que de otra forma construirán rápidamente una carga neta en el cable y prevendrán los modestos voltajes usados para mandar señales por el cableado.

Debido a que la sincronización de red y la distribución de reloj generalmente juegan un gran papel en las redes de línea privada, y SONET en particular, aquí se intentara primero en términos simples explicar exactamente lo que un reloj de red esta haciendo. A lo largo del proceso, las configuraciones en las que la distribución de reloj se vuelve crítica serán examinadas en detalle.

Considere dos redes de línea privada $T_{carrier}$. El ejemplo es simple pero tiene todos los ingredientes necesarios para entender los requisitos del manejo del tiempo de una red. La primera red es mostrada en la figura 22.

La red $T_{carrier}$ en la figura 22 consiste de tres enlaces T-1 punto a punto conectando tres sitios de una organización en red. El equipo de premisas del cliente (CPE) al final del enlace T-1 en cada caso es un multitransmisor T-1 (o solo "mux") que usualmente combina las entradas de 24 puertos DS-0 y las multitransmite al T-1 saliente. Por supuesto, desmultitransmitir toma el lugar del otro extremo del enlace. Con el propósito de simplificar, las entradas y salidas de 64 Kbps no son mostradas en la figura.

Figura 22 Una Red Simple *Tcarrier*



Mientras la red consista de una serie de enlaces punto a punto, no hay necesidad de distribución de reloj entre los diferentes dispositivos de red para sincronizar la red. Los enlaces punto a punto en esta configuración pueden fácilmente utilizar ciclos de tiempo y recuperación de reloj de los datos recibidos.

Primero, es importante darse cuenta que todos los enlaces digitales, incluyendo los enlaces de fibra SONET, consisten de dos vías: transmitir y recibir. Esto se debe al hecho que las señales digitales no son como las señales análogas. Es más fácil enviar señales digitales en una forma unidireccional simple que intentar enviar señales digitales en una forma completamente dúplex, en ambas direcciones, como se hace con las señales análogas (tal como un arreglo en un módem de una PC simple).

En un T-1, estas dos vías son proveídas por dos pares enrollados de alambre de cobre, uno para transmitir (típicamente abreviado TX) y uno para recibir (RX).

Cuando un mux T-1 envía señales digitales de un *buffer*, que es usualmente una estructura completa o más larga (193 *bits* en el caso de un T-1), tomar el tiempo de la señal de salida no es mucho problema. Esto significa que el emisor obviamente sabe donde para un *bit* y empieza otro porque los *bits* son alimentados en forma serial del *buffer* al transmisor. En el T-1, los 193 *bits* en una estructura T-1 completa deben ser enviados 8,000 veces por segundo, o 193 *bits* en 125 microsegundos. Obviamente, el reloj en el mux T-1 debe ser capaz de hacer “tic-tac” más rápido que 1 millón de veces por segundo (1 millón de microsegundos = 1 segundo completo) para que esto se haga adecuadamente.

Este no es el problema para el equipo T-1, afortunadamente; el transmisor T-1 meramente lee el siguiente *bit* en el *buffer* de salida. Cuando es un *bit* “1”, cierto voltaje es puesto en el par de salida para la mitad del intervalo de tiempo de *bit* de 0.65 microsegundos (llamado un “ciclo de función 50%”). Cuando el *buffer* de salida contiene un *bit* “0”, ningún voltaje es puesto en el par de salida para el intervalo completo de *bit* de 0.65 microsegundos.

El punto es que el emisor siempre sabe cuando su propio intervalo de *bit* comienza y termina.

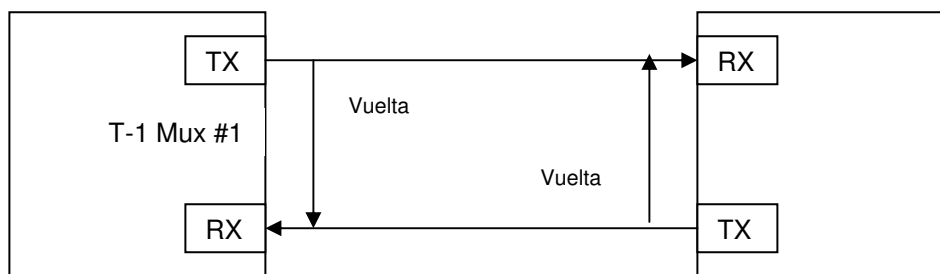
Sin embargo, la situación es diferente en el par receptor. No hay información explícita de intervalo y de tiempo de *bit* enviada junto con los datos del transmisor en el otro extremo del par receptor. La electrónica del receptor T-1 decide determinar cuando va a verificar el par de entrada para ver cual es el voltaje. La presencia de voltaje indica un “1” llegando a ese intervalo de *bit* y la ausencia de voltaje indica un “0” llegando a ese intervalo de *bit*. Por supuesto, ya que incluso un *bit* “1” solamente tiene voltaje en el par receptor para la mitad del intervalo de *bit* de 0.65 microsegundos, si el intervalo de *bit* no es “visto” por la electrónica receptora en el extremo del para en el momento justo, errores resultaran cuando los *bits* “1” son interpretados erróneamente como *bits* “0”. En la práctica, el proceso es un poco más complejo, pero no suficiente para hacer la discusión invalida.

Un peligro existe: ya que ninguna información de tiempo explícita es enviada con los datos, ¿cómo se supone que el receptor en el mux T-1 determine exactamente cuando el intervalo de *bit* escogido por el emisor mux T-1 empieza y termina? Cada reloj en los respectivos *muxes* T-1 en cada extremo del enlace puede ser igualmente exacto, pero fuera de fase. Lo mismo puede pasar cuando dos relojes de pulsera idénticos muestran una diferencia en tiempo de dos minutos, aunque son igualmente exactos en sí mismos. Claramente, las 3 en punto ocurren a diferentes horas para cada usuario del reloj de pulsera. Si algo vital fuera a pasar exactamente a las 3 en punto y requiriera la presencia de ambos usuarios de los relojes de pulsera, existiría una necesidad de “sincronizar los relojes”.

Los humanos pueden hacer esto intercambiando información de tiempo explícita. En términos técnicos, los *muxes* T-1 no pueden “recuperar tiempo” de la corriente de datos de *bit* en bruto recibidos.

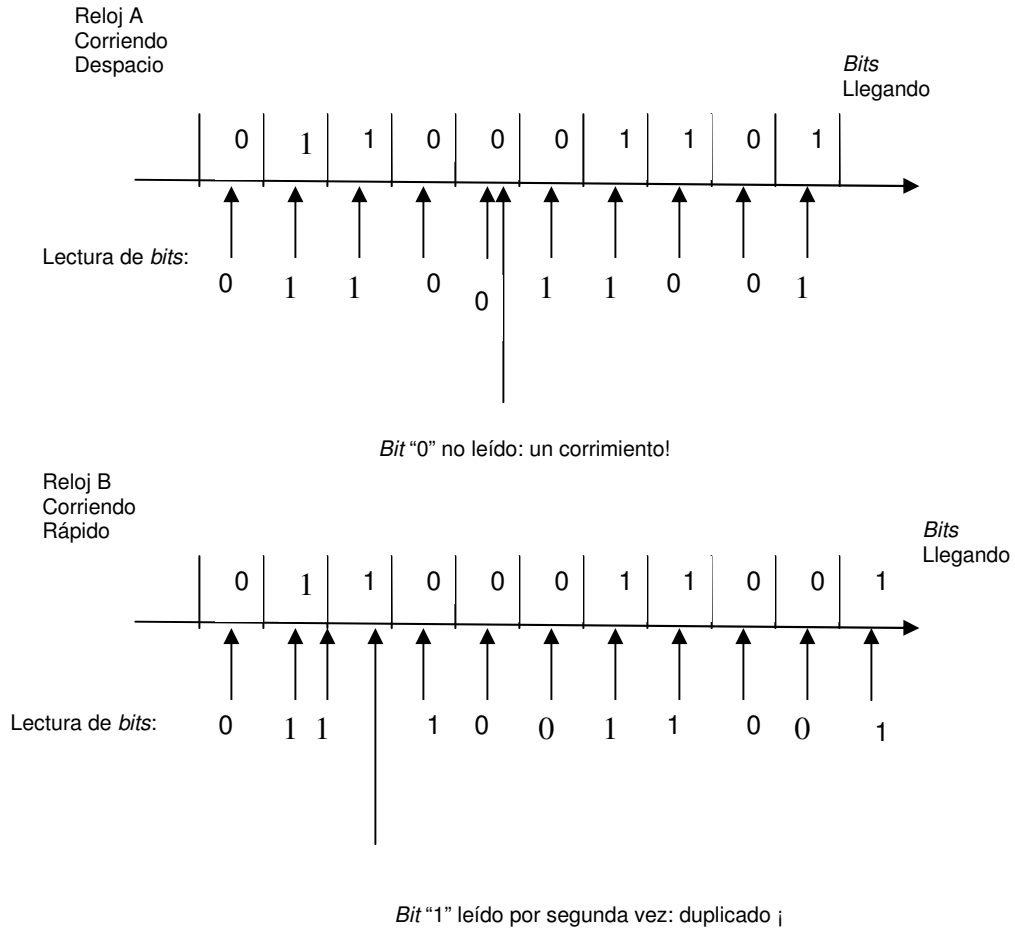
Afortunadamente, hay un simple truco empleado por los *muxes* T-1 en la red del ejemplo para resolver esta limitación. Los seis *muxes* T-1 pueden simplemente emplear el tiempo “circular” para proveer información sobre el tiempo al par receptor. Con el tiempo circular, los tic-tacs del reloj emisor son usados para proveer información sobre el tiempo para la electrónica del par receptor. Ya que ambos *muxes* T-1 hacen lo mismo en los pares receptores, este sistema completo forma lo que es llamado un “loop cerrado de fase” porque cada reloj emisor previene al reloj receptor de salirse mucho de la fase con sus contrapartes.

Figura 23. Tiempo Circular en un enlace T-1



En la práctica, se emplea un “loop cerrado de doble fase”, pero el principio es el mismo. La figura 24 muestra tal tiempo circular en principio, aunque el proceso completo es ejecutado internamente y electrónicamente en los *muxes* T-1.

Figura 24. Tiempo corrido causado por la vibración de reloj



El tiempo circular, cerrado o no, aun tiene limitaciones. Los relojes aun pueden dejar de hacer “tic-tac” en el punto adecuado en un intervalo de tiempo, y si esta vibración de tiempo persistiera en una dirección u otra (“más rápido” o “más lento”) por el tiempo suficiente, un error de tiempo resultaría invariablemente. En un error de tiempo, un *bit* es perdido o duplicado, porque la corriente de *bits* entrante no es muestreado e interpretado electrónicamente en el tiempo correcto.

Los relojes que corren mas lento perderán invariablemente un *bit* de vez en cuando, y los relojes que corren más rápido duplicaran invariablemente un *bit* tarde o temprano. Este factor es mostrado en la figura 24.

Para prevenir vibración persistente más rápida o más lenta por los errores producidos, los relojes del equipo T-1 exhiben un rango de restricción característico sobre el cual los relojes pueden ajustar sus intervalos de *bit* y compensar por los efectos de la vibración. Todos los relojes, por lo tanto, tienen una exactitud característica (que limita los errores causados por la vibración a un número específico por intervalo de tiempo) y rango de restricción (que es como ellos aseguran la exactitud).

En un enlace T-1 punto a punto, los *bits* se originan de un *buffer* emisor y terminan en un *buffer* receptor. Los *buffers* se llenan y vacían por el equipo final digital en cada extremo del enlace T-1. Esto limita los efectos de vibración y sus errores resultantes. El tiempo circular simple, por lo tanto, es adecuado para la operación de enlaces T-1 punto a punto. En el ejemplo arriba, los seis mux T-1 y las redes de *Tcarrier* de tres enlaces opera correctamente con tiempo circular simple empleado en cada uno de los tres enlaces.

Como resultado, una organización con este tipo de redes T-1, con solo una serie de enlaces T-1 punto a punto, sin importar cuantos, empleara tiempo circular en todos lados y se preguntara exactamente de que se trata el debate acerca de tiempo de red.

Mientras los *bits* se originen en un dispositivo final de usuario, y sean llevados a otro dispositivo final de usuario, no hay problema con el tiempo circular, excepto por errores ocasionales causados por la vibración.

Los *muxes* T-1 no son los únicos dispositivos que pueden ser desplegados en una red T-1.

Cuando se aplican al equipo de *Tcarrier*, el agregar y soltar pueden ser hechos por el equipo normalmente conocido como un sistema digital de conexión en cruz (DCS), pero el resultado neto es el mismo. Esto es, canales DS-0 específicos pueden ser terminados en un sitio, mientras que otros son agregados a la corriente de datos saliente, mientras que otros canales DS-0 continúan esencialmente sin ser tocados a lo largo del DCS o ADM. Considere la segunda red mostrada en la figura 25.

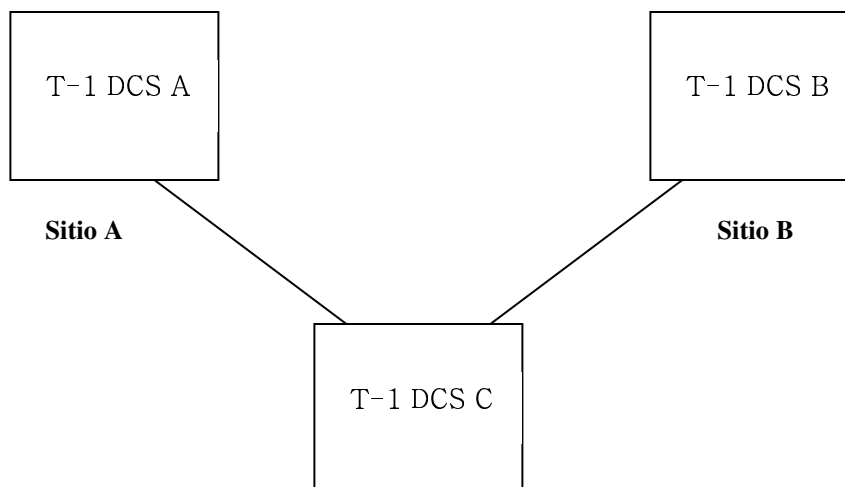
Tres sitios están aun conectados por tres enlaces, como antes. Sin embargo, los dispositivos finales ya no son simples multitransmisores, sino dispositivos DCS más complejos. Estos tienen una capacidad considerable para agregar-soltar, y es posible agregar o pasar cualquier número de DS-0s o cualquier T-1 no cambiados en cualquier sitio, dependiendo de cómo el DCS esta configurado por los usuarios. Los DS-0s que salen o finalizan en un *buffer* destinado para un dispositivo de usuario final no son el problema.

El problema es con los *bits* representando a los DS-0s que son pasados directamente de una estructura T-1 entrante a una estructura T-1 saliente. Estos *bits* DS-0 “que pasan a través de” son la razón para que otros arreglos de control de tiempo sean hechos mas allá del tiempo circular simple.

Considere la segunda red mostrada en la figura 25.

Tres sitios están aun conectados por tres enlaces, como antes. Sin embargo, los dispositivos finales ya no son simples multitransmisores, sino dispositivos DCS más complejos. Estos tienen una capacidad considerable para agregar-soltar, y es posible agregar o pasar cualquier número de DS-0s o cualquier T-1 no cambiados en cualquier sitio, dependiendo de cómo el DCS esta configurado por los usuarios.

FIGURA 25. Una red T-1 más compleja



Los DS-0s que salen o finalizan en un *buffer* destinado para un dispositivo de usuario final no son el problema. El problema es con los *bits* representando a los DS-0s que son pasados directamente de una estructura T-1 entrante a una estructura T-1 saliente. Estos *bits* DS-0 “que pasan a través de” son la razón para que otros arreglos de control de tiempo sean hechos mas allá del tiempo circular simple.

He aquí el por qué: Tan pronto como el propietario o más de estos dispositivos involucran la toma de *bits* de un enlace y los ponen directamente en otro enlace, tal como ocurre en un mux agregar/soltar (ADM) o un sistema digital de conexión en cruz, la relación entre estructuras comienza a volverse digital, especialmente en un esquema multitransmisor sincrónico como SONET. Un DS-0 que es soltado y un DS-0 que es agregado deben ocupar exactamente las posiciones de *bit* adecuadas en la estructura del diseño T-1. En este caso, el reloj receptor en un puerto de entrada debe concordar precisamente con el reloj transmisor en el puerto de salida, y no solo por un mecanismo simple de *loop*.

Por lo tanto, las redes que consisten de más que enlaces simples punto a punto donde los *bits* son terminados en dispositivos finales en cada extremo, necesitan distribuir algún tipo de señal de tiempo de red (por ejemplo, reloj de distribución) entre los dispositivos separados en la red.

Para ver esto más claramente, extienda la analogía de reloj de pulsera usada anteriormente. Un acuerdo rápido para ajustar un reloj de pulsera o el otro es suficiente para permitir a ambas personas comprometerse en alguna actividad mutua precisamente a las 3 en punto. Considere esto como un ejemplo de tiempo circular. Pero cuando los dispositivos DCS son usados, la analogía es mas como un salón de conferencias sin un reloj en la pared. Cuando veinte personas necesitan un descanso rápido (quizá han estado leyendo mucho acerca de SONET en una sesión) y todos deben regresar a la misma hora, no pueden fácilmente coordinar sus relojes para acordar regresar a la misma hora. Las 3:01 de una persona pueden ser las 2:59 de otra, y así sucesivamente. Si todos tienen que revisar con los demás, esta de más ver que este proceso podría fácilmente consumir la mayor parte del tiempo permitido para el descanso. Los efectos de la vibración requerirían que el proceso se repitiera muy seguido para asegurar la exactitud adecuada para el manejo del tiempo del descanso, en cada parte de cada segundo.

Sin embargo, si hubiera un reloj master en el salón, quizá el reloj de pulsera del instructor, con el que todos los relojes pudieran sincronizarse, el proceso se volvería mucho más simple y eficiente. Esta es naturalmente la idea completa detrás de la distribución del tiempo en las redes digitales.

Solo para hacer la analogía más realista. Se podría agregar que todos los relojes han sido asignados con cierto grado de exactitud, dictando con que frecuencia deberían ser sincronizados contra el reloj de referencia primaria y cuanto se espera que operen sin error. Sería de esperar que el reloj del instructor fuera el más exacto de todos, y que algún sistema se estableciera para asegurar esto.

En la red DCS del ejemplo, cada uno de los dispositivos DCS establece un enlace especial, normalmente solo otro DS-0, para recibir señales de tiempo, en eso mantiene sus relojes individuales dentro de los rangos operacionales adecuados. Esto permite que cada dispositivo tome adecuadamente *bits* directamente de un enlace entrante y los ponga directamente en un enlace saliente, sin importar que tan compleja sea la red DCS. Las organizaciones con muchos enlaces T-1 interconectados, como en este segundo ejemplo, rápidamente ganan un respeto saludable por la sincronización de tiempo de red y las técnicas de distribución de reloj.

La necesidad de relojes master y un esquema de distribución de reloj se pierden totalmente con la gente con experiencia en redes IP y la Internet. Podrían haber muchos DS-1s en una red IP, pero nunca un pensamiento de preocupaciones de tiempo. Hay una simple razón para que en el mundo IP haya una falta de preocupación acerca de la sincronización de reloj: nadie se preocupa por “lograr entrar” a un paquete IP y sacar un *byte* particular.

Los paquetes IP son *switcheados*, o direccionados, pero siempre como una unidad completa, incluso cuando la voz esta adentro del paquete IP. En otras palabras, nadie conecta en cruz a la red IP, así que no hay necesidad de sincronizar las corrientes de *bytes* de paquetes IP.

Pero los *bytes* de voz dentro de los DS-1 y los enlaces SONET/SDH son conectados en cruz todo el tiempo. El equipo rutinariamente requiere conexión en cruz. Esto es cierto ya sea que los enlaces SONET/SDH lleven voz o no. SONET y SDH requieren rígidos mecanismos de manejo de tiempo por si acaso alguien quiere usar el enlace para voz.

¿Dónde encuentran los DCS en las líneas privadas los servicios de un reloj master? Las organizaciones que no son proveedores de servicio (o *carriers*) con sus propios ADMs o DCSs pueden obtener señales de tiempo del proveedor de servicio. Entonces ¿de dónde obtiene el reloj el proveedor de servicio? En la mayoría de redes modernas, el reloj viene ultimadamente de tales sistemas estándares como un reloj atómico o *LORAN* (navegación por radio de rango largo, menos común hoy en día) o las versiones civiles y militares de los Estados Unidos del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), cuyo reloj master esta en *Boulder*, Colorado. El uso de GPS es más común hoy en día. Tanto *LORAN* como GPS son ayudas navegacionales que fijan posiciones en la superficie de la tierra por triangulación de señales de radio. *LORAN* es menos común hoy en día porque su despliegue domestico original era lento.

Las señales GPS son extremadamente estables y los pulsos están muy bien formados. Ya que hay múltiples señales GPS disponibles en cualquier lugar de la tierra (hay satélites), usualmente por lo menos tres al mismo tiempo, las señales pueden ser verificadas desde varios ángulos de una a otra constantemente. Como resultado, ocurre muy poca desviación o vibración en la señal GPS; si usted intenta posicionar un tanque usando esta señal, la vibración potencialmente puede llevar al tanque a aplastar sus propias tropas.

Usualmente en los sistemas SONET, la señal GPS es usada para establecer un reloj de referencia primaria (PRC) para la red entera. Este reloj de referencia primaria es conocido como el reloj de estrato 1 para la red entera del proveedor de servicio. Cuando este reloj dice que es el medio día, es el medio día y ya. El truco es dejar que todos los otros dispositivos de la red sepan que es medio día. No hace mucho tiempo, era común tener solo un reloj de estrato 1 en toda la red. Pero con referencias confiables de tiempo externas, tales como GPS, es posible tener muchos relojes de estratos 1 sin correr el riesgo de que alguno de ellos contradiga a los otros. AT&T, por ejemplo, tiene 17 PRCs de estrato 1, y planes para desplegar mas en el futuro.

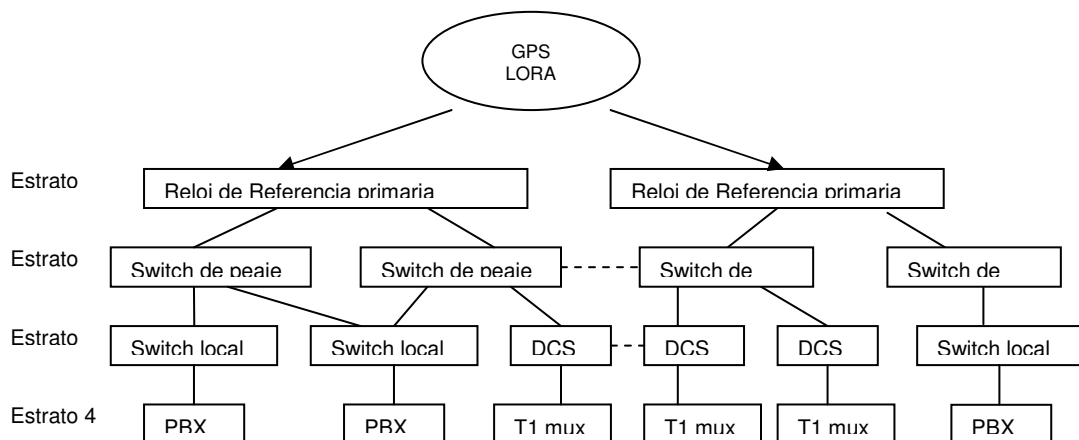
El reloj (o relojes) de estrato 1 de la red usa líneas rentadas regulares (usualmente de velocidad modesta) para distribuir estos pulsos de reloj directamente a otros dispositivos en la red. Estos son relojes de estrato 2, y están directamente conectados al reloj de estrato 1.

Seria muy caro enganchar todo directamente al reloj de estrato 1, así que otro conjunto de dispositivos de red obtiene el tiempo no del reloj de estrato 1, sino del reloj de estrato 2. Estos son, no sorpresivamente, relojes de estrato 3. Otros dispositivos, los relojes de estrato 4, obtienen su tiempo de los relojes de estrato 3.

La estructura completa de la jerarquía de tiempo de red, que esta estrictamente simplificada en los principales documentos estándar de red, como se muestra en la figura 26. Esta arquitectura es usualmente llamada el método jerárquico fuente-receptor de la distribución de reloj.

En la figura 26, las redes son mostradas obteniendo su información PRC de tiempo absoluto de LORAN o GPS. Podría realmente haber más de un PRC en una red, usados para backup u otros propósitos. Las dos redes en la figura pueden ser redes *carrier*, dos redes corporativas privadas, una de cada una o incluso otras combinaciones más exóticas.

Figura 26. Estratos de reloj



En el mundo de *Tcarrier* real, la mayoría de relojes de estrato 2 están en grandes oficinas tarifarias para las redes *carrier* o nodos de red mayores. En el caso de los relojes de estrato 3 de redes privadas, están localizados en pequeñas oficinas finales, tales como una oficina central local. Finalmente, los relojes de estrato 4 están usualmente en dispositivos CPE, tales como *muxes* de *Tcarrier* o PBX corporativos. El esquema entero es bastante efectivo, mientras que sea un reloj de nivel mas bajo. Es posible, cuando no se ejercita un cuidado apropiado, crear situaciones como “loops de tiempo” donde la ultima fuente de una señal de tiempo puede ser un reloj de nivel mas bajo. Estas situaciones deben ser evitadas a toda costa. Un simple ejemplo de loop de tiempo ocurre cuando alguien no esta seguro que la hora de su reloj es correcta. Le pregunta por la hora a alguien más, quien le pregunta a alguien más, quien mira el reloj de la primera persona para verificar la información. Esto no ayuda, así que la regla es nunca depender en un reloj de nivel mas bajo para las señales de tiempo. Esto previene loops de tiempo.

Note que una oficina de *switchhead* local puede mantener más de un enlace a un reloj de estrato más alto, lo cual esta bien, siempre y cuando un solo enlace (el primario) sea usado para señales de tiempo mientras que los otros se mantengan solamente como un backup (el Aries secundario o de envío). Note también que la red digital de un proveedor de servicio tendría su propio esquema de distribución de tiempo. Eso también esta bien.

El único momento para preocuparse es cuando un enlace va de un proveedor de servicio a otro (por ejemplo, la situación *mid-span meet*).

Esto es lo que hace la red de *Tcarrier* verdaderamente plesio-crónica porque una red no puede imponer su tiempo sobre otra. A menos, por supuesto, que sea una red SONET. Entonces, entre más rígido sea el tiempo SONET, más posible se hace la situación *mid-span meet*.

¿Que pasa cuando se pierde un enlace a un reloj de referencia? En este caso, cada reloj de estrato tiene características de ejecución garantizadas que tienen diferentes parámetros, dependiendo del estrato. Naturalmente, entre más alto el nivel del estrato, más exacto debe ser el reloj. La idea es prevenir que ocurran errores hasta que los enlaces de tiempo sean restaurados para servir. Muchos proveedores de servicio mantienen instalaciones físicamente separados solo para la distribución de tiempo, pero nada previene a cualquier organización de distribuir el tiempo a través de la red de *Tcarrier* en sí misma.

La ITU-T caracteriza la ejecución de reloj receptor basado en si el reloj esta operando en un de tres modelos:

- **Operación Ideal:** el comportamiento a corto plazo del reloj.
- **Operación Enfatizada:** el modo típicamente operacional en el que el tiempo es recibido de cualquier otra fuente.
- **Operación Sostenida:** los casos “raros” cuando todas las referencias de tiempo se pierden.

En el modo de operación ideal, el reloj receptor nunca pierde la referencia de tiempo entrante. Esto es ciertamente verdadero a corto plazo, pero no es típico de la operación normal diaria. Pero como opera el reloj a corto plazo es una buena base para la ejecución del tiempo en general. Por ejemplo, la operación ideal muestra el “ruido” a corto plazo del reloj, que se manifestara a sí mismo como ajustes del indicador de la carga útil del nivel DS3 en SONET.

La operación enfatizada siempre espera que haya interrupciones cortas de la señal de referencia de tiempo, que es ciertamente verdadero de las operaciones de red normal. Puede haber de 1 a 100 interrupciones por día de acuerdo a la ITU-T. Naturalmente, durante la interrupción, la referencia de tiempo no puede ser usada. Si la interrupción es corta, el receptor restaurara la señal de tiempo cuando reaparezca. De otra forma, el reloj receptor tendrá que cambiar referencia si la prueba de ejecución externa es extendida. En cualquier caso, habrá cierto error entre el tiempo mantenido localmente y la referencia secundaria o restaurada nuevamente. Esta diferencia debería ser menos de 1 microsegundo. Un error de tiempo de incluso 1 microsegundo puede causar hasta 7 ajustes de indicador en el nivel DS-3 en un corto periodo de tiempo, pero SONET puede manejar esto sin error. Y una diferencia de tiempo de 1 microsegundo no afectara las cargas necesarias de nivel DS-1 en SONET (o E-1 en SDH). Sin embargo, los errores de tiempo se acumularan y causaran eventualmente un ajuste de puntero en los niveles más bajos de SONET/SDH.

La operación extendida ocurre cuando un NE SONET/SDH pierde todas las referencias de tiempo, primarias o secundarias, por un periodo de tiempo extendido. En SONET/SDH, si un NE esta en operación extendida o recibiendo el tiempo de una fuente en operación extendida, los ajustes de puntero vienen generalmente y a intervalos fijos.

Si todo esta funcionando como lo planeado, debería haber pocos ajustes de puntero DS-1 o E-1 cada día. Incluso en operación extendida, un NE SONET/SDH no debería tener más de un ajuste de puntero DS-1 en 9 segundos, y uno por 7 segundos para E-1.

3.2 Reloj Plesiocrónico

Sin importar los relojes altamente exactos en la red de *Tcarrier*, nunca ha sido posible la operación sincrónica de los multitransmisores y otras partes del equipo, sin la necesidad de relleno de *bits* para reponer estas diferencias de tiempo. Hay dos razones para esto.

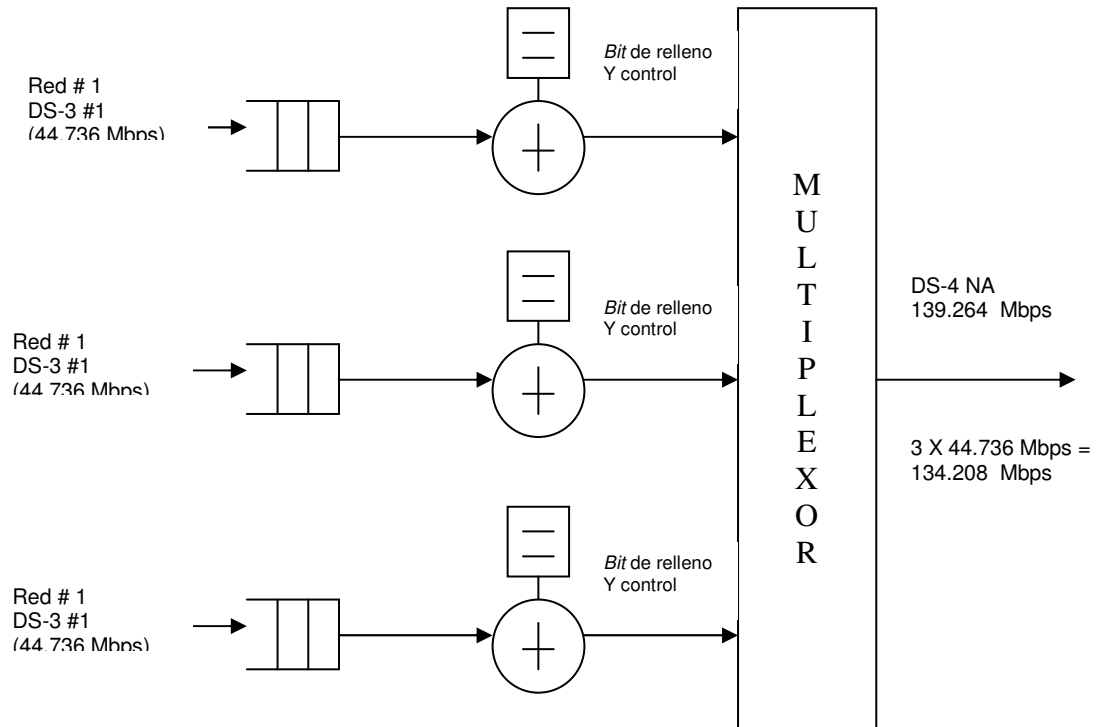
Primero, los enlaces de *Tcarrier* al ser multitransmitidos pueden venir de dos redes diferentes. Por ejemplo, se puede necesitar crear un DS-4 de tres DS-3 de entrada. Uno viene de la propia red del proveedor del servicio, el segundo viene de la propia red de otro proveedor de servicio, y el tercero viene de una “isla asincrónica”, que es otra forma de decir una red privada con su propio esquema de reloj interno.

La falta de referencia también permite que los relojes en dispositivos aislados se salgan de fase. No necesariamente fallan, pero puede salirse justo lo suficiente para llevar el número “incorrecto” de *bits* por tiempo de estructura. Por supuesto, estos dispositivos aun necesitan enviar y recibir datos.

Ya que cada uno de los relojes puede no estar en fase con los otros, y probablemente no estará, es necesario reunir los datos en un *buffer*, usualmente una estructura completa, e insertar *bits* de relleno y controlar los *bits*. Los *bits* de relleno recuperan un faltante en el número de *bits* en una estructura y los *bits* de control habilitan al receptor al detectar los *bits* de relleno. En el caso de un T-1, los *buffers* de error repetirán una estructura completa si el reloj de entrada corre constantemente más lento que el reloj de salida en un DCS.

Una estructura entera será botada si el reloj de entrada corre constantemente más rápido que el reloj de salida en un DCS. Esta es solo otra forma de decir que la distribución de tiempo y la exactitud de tiempo es crítica en las redes donde el equipo de *Tcarrier* esta enganchado espalda a espalda, en lugar de consistir de un pequeño (o incluso gran) número de enlaces punto a punto.

Figura 27. Tiempo Plesiochrónico



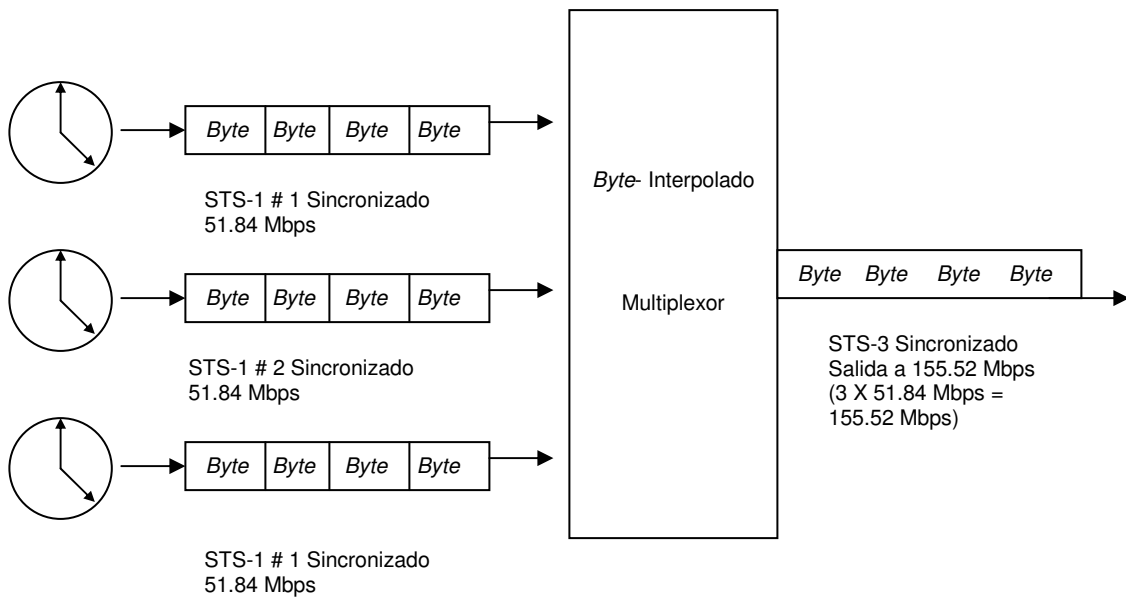
Este proceso entero de ajustar las variaciones de tiempo se traduce en mucho esfuerzo y gastos. Por ejemplo, un DS-4 usa mas de 5 Mbps (mas del valor de tres T-1 de ancho de banda) solo de gastos para empaclar los DS-3 plesiochrónicos. El ancho de banda del relleno de *bits* seria mucho menor usado llevando los *bits* del usuario (y agregando ganancia) a la red del *carrier*. Este relleno de *bits* y proceso de control para DS-3 a NA DS-4 esta ilustrado en la figura 27.

3.3 Múltiplexación Sincrónica SONET

El tiempo de red más exacto permite a SONET usar multiplexación más directa, intercalada y sincrónica que los desfavorables métodos de relleno de *bit* usados con los niveles más altos de la jerarquía digital de *Tcarrier*. Por lo tanto, tres OC-1 pueden fácilmente estar combinados en un OC-3 sin el uso de grandes *buffers*, relleno de *bits*, o mucho control.

No se logra nada sin pagar un precio, sin embargo. No puede haber relojes de estrato 4 en SONET. Todo el tiempo en todos los dispositivos SONET debe ser de estrato 3 o mejor. Esto solía ser un asunto mayor en gastos de red, pero la capacidad de pagar relojes exactos hace el estricto tiempo SONET mucho más fácil de lograr.

Figura 28 Sonet Multiplexor Sincrono



El mayor beneficio es mostrado en la figura 28. En la figura, las entradas sincronizadas STS-1 pueden estar directamente entrelazadas con relación a *bits* en la corriente de salida STS-3 sincronizada. La STS-3 es entonces convertida en señales ópticas y enviadas en la fibra SONET. No se necesitan procedimientos de control y complejo relleno de *bits*. Como resultado, las velocidades SONET son simples múltiplos de la escala básica de 51.84 Mbps. Ya no se necesita control adicional para el control y relleno de *bits*.

3.4 Sincronizando una red SONET

Es muy importante darse cuenta que es la necesidad potencial de conectar en cruz el DS-1 (y E-1) (bastante dado en el mundo de circuito de voz) que SONET y SDH necesitan para sincronizar los relojes de red. La mayoría de autoridades en telecomunicaciones usan una técnica llamada método jerárquico fuente-receptor para lograr esto.

En el método jerárquico fuente-receptor, el reloj master usado en la red es una (o más) fuentes de referencia primaria (PSRs). La referencia de tiempo esta distribuida para el resto de la red a través de una serie de relojes receptores. Los relojes receptores pasan señales a través de los otros receptores en la forma de una jerarquía piramidal. Los NE SONET pueden causar uno de cinco de tipos de tiempo:

- **Tiempo Externo:** Esta disponible una referencia directa de reloj de estrato 1.

- **Tiempo Lineal:** El NE deriva su propio tiempo de la entrada de señal SONET mezclada.
- **Tiempo A Través De:** El tiempo en este caso es también derivado de la entrada, pero luego el NE envía la señal en una dirección de salida diferente.
- **Tiempo circular:** Este es el mismo que el tiempo lineal, con una diferencia mayor. El tiempo lineal puede ser usado en un multitransmisor agregar-botar (ADM) usado como equipo de premisas de cliente (CPE) y puede haber otros NE SONET mas allá del ADM. El tiempo circular es usado para CPE directo y los extremos SONET en este NE. En términos del equipo SONET discutido completamente mas adelante, el ADM es configurado para el modo Multitransmisor Terminal™.
- **Corriente Libre:** El NE SONET tiene acceso solamente a un reloj interno.

Seria útil dar un ejemplo de cómo los NE SONET realmente usan estos modos de tiempo.

Esta bien y bueno describir los relojes de estrato y como el tiempo SONET permite la multiplexacion sincrónica.

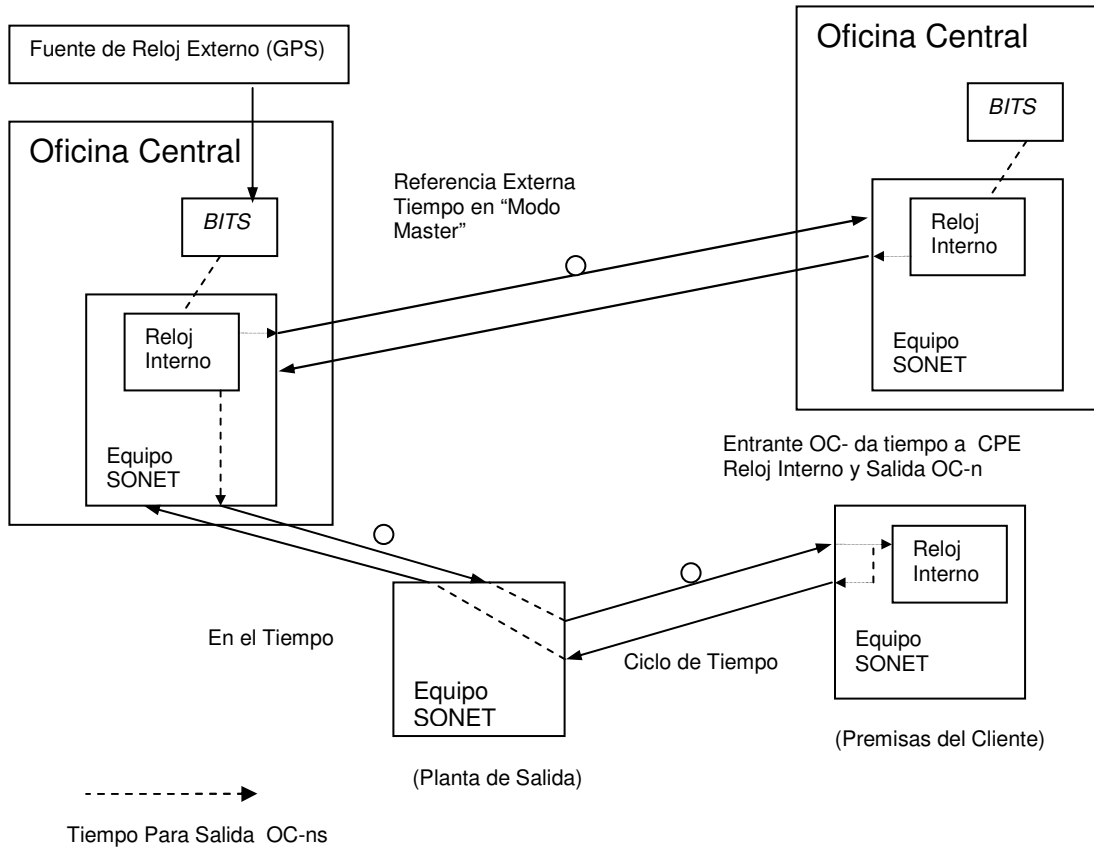
Sin embargo, esto no explica exactamente como las redes SONET distribuyen el tiempo entre los varios NEs de red SONET.

La figura 29 muestra como una red SONET esta usualmente sincronizada. En la figura, el tiempo para los OC-n salientes es mostrado en una flecha punteada. El reloj interno de una parte del equipo SONET en un nodo de *switchhead* (por ejemplo, una oficina central) puede derivar su señal de tiempo de un suplemento de tiempo integrado constructivo (*BITS*). Por supuesto, el sistema *BITS* obtiene su propio tiempo de un nivel más alto de sistema de tiempo de estratos. La oficina puede incluso obtener tiempo directamente de las señales GPS. Tales sistemas de tiempo constructivo pueden ser usados para proveer tiempo a todos los dispositivos SONET en la oficina de *switchhead*.

Estos *BITS* suplen tiempo de referencia externa en lo que es conocido como “modo master” para cada uno los relojes internos en los nodos de proveedor de servicio del equipo SONET. Este equipo sirve como master para otros nodos de red SONET, proveyendo señales en su enlace OC-n saliente a literalmente cualquier nivel de la jerarquía SONET. Otras oficinas de *switchhead* usan sus propios *BITS* para dirigir los relojes internos y controlar el tiempo del enlace SONET saliente.

Por supuesto, no todo el equipo SONET esta ubicado en los nodos de *switchhead* donde las buenas señales de tiempo o señales *BITS* están fácilmente disponibles. Por ejemplo, puede haber equipo SONET desplegado como equipo de planta externa lejos de la oficina central.

Figura 29 Sincronizando una Red SONET

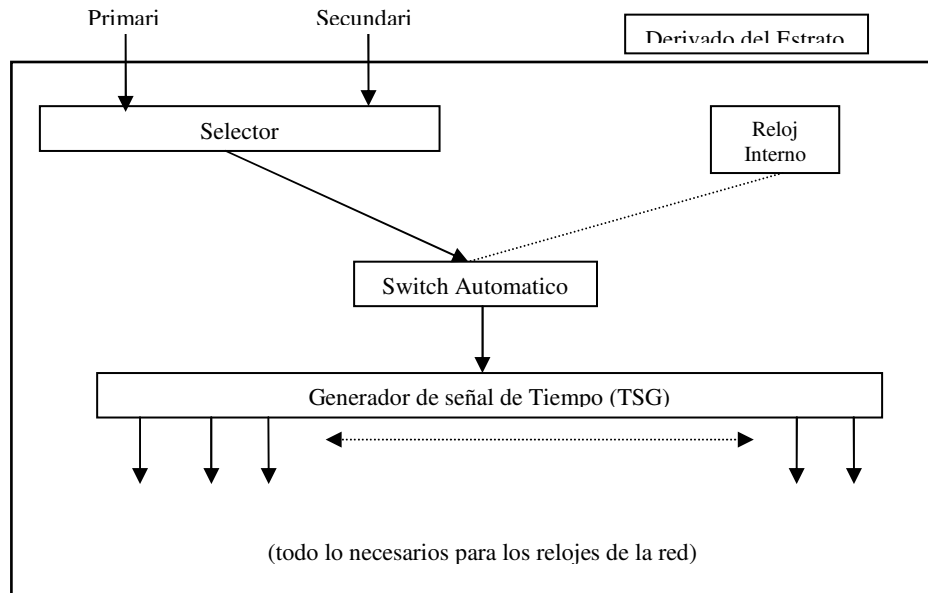


Estos otros nodos SONEt derivan su tiempo de la corriente entrante de *bits* SONEt en lo que es llamado un arreglo "controlado por tiempo circular", incluso mostrado en la figura 3.8. El equipo SONEt intermedio, tal como los ADMs (*muxes* agregar/botar), en los enlaces SONEt usa tiempo circular.

¿Y que acerca del equipo SONET en las premisas del cliente? Este CPE opera en “modo esclavo” (el termino es deplorable, pero universal), que emplea “tiempo circular” para el reloj interno. Note que este arreglo controla el tiempo de las señales OC-n del CPE entrantes y salientes, y también provee un tiempo de referencia para el reloj interno en el CPE.

Por supuesto, todos los relojes en la figura 3.8 deberían ser de estrato 3 o mejores para SONET debido a la falta de estándares adecuados de exactitud y ejecución para los relojes de estrato 4.

Figura 30. La estructura de BITS



La figura 30 muestra algunos detalles de una operación *BITS*. Para propósitos de confiabilidad, excepto en redes privadas más modestas, la red de tiempo tiene enlaces tanto para fuentes de tiempo primarias y secundarias. Ambas deben derivar de una fuente de estrato 1 pero, por supuesto, otros arreglos son posibles, incluyendo la sincronización GPS directa. Los enlaces secundarios actúan como backup o stand-by. Una unidad selectora escoge la señal de tiempo adecuada. Si un corto periodo de ruptura de señal ocurriera por parte de las fuentes primarias y secundarias, el reloj interno del edificio podría ser usado. El reloj interno debe ser exacto a +20 partes por millón si se usa para este propósito.

Dentro de un edificio simple, una de estas fuentes de tiempo es designada como el *BITS*, que tiene la más alta exactitud. El generador de señal de tiempo (TSG) toma la decisión. Por ejemplo, si la fuente primaria estuviera determinada para ejecutar pobremente y no cumplir con la calidad de estrato 1, el TSG podría decirle al selector que intente con la fuente secundaria. Si se encontrara que esto es inaceptable también, el TSG podría entonces ser automáticamente cambiado al reloj interno como fuente de tiempo.

BITS provee todo el manejo de tiempo para los enlaces digitales en la oficina servidor. Estos son mostrados en la parte inferior de la figura 30.

3.5 Beneficios del manejo de tiempo SONET

Los beneficios de requerir manejo de tiempo de estrato 3 en SONET son numerosos. Algunos son listados como sigue:

- ◆ Este es el mecanismo que permite a SONET multitransmitir *bytes* a los rangos de los *giga bits*. Sin el extremadamente exacto manejo de tiempo necesario para la multiplexación de *bytes*, SONET estaría forzado a revertir el relleno y control de *bits* a escalas de *bits* muy altas.
- ◆ El equipo de multiplexación es mucho más compacto y simple. El mismo manejo de tiempo que hace la multiplexación de *bytes* posible también resulta en diseños mucho más simples ya que los microprocesadores funcionan bien con grupos de 8 *bits* (el *byte*).
- ◆ El arreglo de circuitos en SONET puede ser fácilmente colocado en una tarjeta de circuito simple, no en un monstruoso gabinete. Como resultado, la mayoría del equipo SONET es bastante modesto en tamaño.
- ◆ Comparado a los dispositivos de *Tcarrier*, el equipo SONET es adquirido a un costo reducido y con menos complejidad. Los componentes más pequeños usan menos energía y pueden ser producidos en masa mucho más efectivamente.

- ◆ Ya no hay necesidad de que la desmultiplexación completa encuentre un DS-0 individual (que no es más que un grupo de *bytes* de 8 *bits*) dentro de un transporte de escala de *bits* más alta. Todo en SONET es multitransmitido con relación a *bytes*; por lo tanto, es fácil encontrar un STS-1 específico dentro de un STS-*n*, y justo tan fácil como encontrar un DS-0 dentro de un STS-1 dado – es decir, cuando la carga necesaria lleva DS-0s.

3.6 ¿Por qué SONET necesita apuntadores?

Mucho se ha enfatizado que SONET está firmemente sincronizado y emplea relojes exactos para lidiar con la necesidad de *T_{carrier}* del control y relleno de *bits*. Sin embargo, se ha hecho mención de que SONET emplea apuntadores en los gastos de transporte para ubicar el sobre de carga necesaria sincrónica (SPE) dentro de una estructura SONET. Sin embargo, si SONET fuera verdaderamente sincrónico, ¿por qué no podría la posición del SPE ser solo “cerrada” en posición y luego depender del tiempo SONET para mantener el SPE allí?

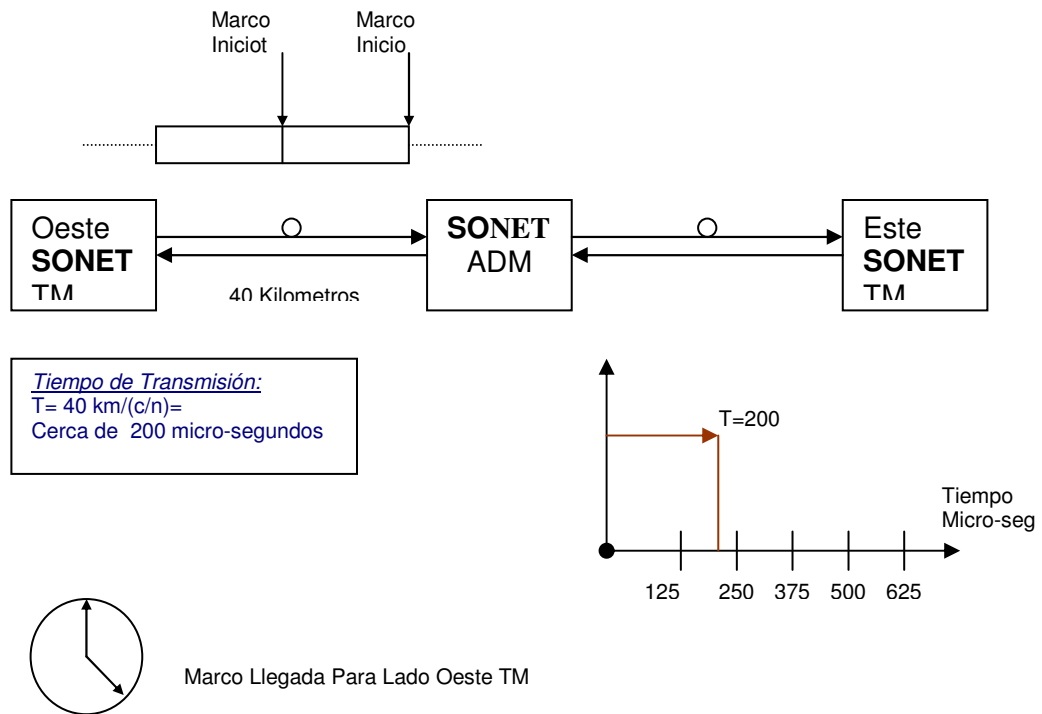
El hecho es que SONET aun puede necesitar apuntadores, incluso cuando todos los relojes en la red SONET son derivados de exactamente la misma fuente de referencia primaria. Esto es principalmente porque la velocidad de la luz es finita.

La razón para esta necesidad de apuntadores es mostrada en la figura 31. La figura ilustra lo que pasa cuando un ADM SONET debe tomar las cargas necesarias de una terminal multitransmisora SONET del "Oeste"TM y enviar la carga necesaria directamente a un dispositivo TM SONET del "Este". Esto no es una actividad inusual para el equipo SONET.

Primero, note que si el enlace de fibra fuera de 40 Km. de largo, tomaría alrededor de 200 microsegundos para una estructura alcanzar el ADM SONET. El tiempo de transmisión es dado por la formula $t = d (c/n)$, donde d es la distancia en kilómetros, c es la velocidad de la luz, y n es el índice de refracción del núcleo de la fibra. Es fácil ver que si $d = 40$ Km. (como dado) y $n = 1.5$ (típico para la fibra SONET), entonces $t = 40$ Km. $(300,000 \text{ km/seg} / 1.5) =$ alrededor de 200 microsegundos.

Ahora, aquí está el problema: la estructura llega al ADM después de 200 microsegundos, pero el ADM está enviando una estructura en dirección a estos cada 125 microsegundos, como es usual, basado en el reloj interno. Por lo tanto, el ADM puede necesitar potencialmente esperar otros 50 microsegundos para enviar la carga necesaria en dirección este si la carga necesaria siempre debe estar alineada con el principio de la estructura SONET.

Figura 31. ¿Por qué SONET necesita apuntadores?



El problema es que a la escala OC-48 (alrededor de 2.488 Gb por segundo), habrá alrededor de 20 Mbps llegando al ADM cada microsegundo ($2.488 \text{ gigabits} / 125 \text{ microsegundos}$) Esto es alrededor de 1 *gigabit* en 50 microsegundos y requeriría un *buffer* de al menos 125 *megabytes*! Estos *buffers* también serían requeridos en cada parte del equipo SONET a lo largo del camino en la red SONET.

Sin embargo, algunos proveedores de servicio de hecho reúnen en un *buffer* la carga necesaria en esta situación, todo con el interés de preservar la simple posición de cuarta columna del SPE dentro de la estructura SONET. Sin embargo, los apuntadores SONET (por ejemplo, H1, H2 y H3) proveen una forma para balancear el principio de la carga necesaria hacia el lado este desde el principio de la estructura SONET en sí misma.

Además, los apuntadores en si mismos son capaces de ajustes (o justificaciones) de puntero “positivo” y “negativo” debido a las variaciones de tiempo en los relojes de red SONET de estrato 3. Estos hacen esto no 1 *bit* a la vez, sino 1 *byte* a la vez. La justificación de puntero es necesaria porque los apuntadores H1/H2 no pueden meramente señalar en cualquier dirección en el SPE, pero siempre deben señalar la posición del primer *byte* del Control de Ruta (POH). Si este se mueve debido a la sobre-corrída o sub-corrída de recolección de datos de *buffer* de *bytes*, así debe ser el puntero H1/H2 al POH. Por lo tanto, el uso de apuntadores en SONET reduce la necesidad del espacio y retrasos de *buffer* en los enlaces SONET.

4. REDES SONET

4.1 Sistemas de Carrier Pre-Sonet

Los sistemas más antiguos de fibra óptica eran intensos con relación a equipo, propietario, y una pesadilla operacional. Una visita a una oficina central empleando circuitos de fibra óptica revelaba un pozo de serpientes; cables coaxiales desde y hacia el equipo de transmisión de fibra óptica, un rincón tipo Medusa con conexiones en cruz físicas y panel de parches que amenazaba con enlazar a un técnico no cansado, y una carencia de papeleo actualizado que era absolutamente esencial para que todo tuviera sentido. Los conectores de propietario no cazaban con ninguna otra parte del equipo en el edificio y era una verdad que cualquier equipo o dispositivo entregado no se podía vincular a nada mas – en algunos casos, incluso del mismo vendedor – sin conversión de conector extenso o componentes de interfase configurados para preferencias individuales.

Aun así, el despliegue de traslapes de transmisión SONET en estos sistemas ha sido efectivo con relación al costo por dos grandes razones: un traslape indica que un vínculo o circuito particular es convertido a SONET usando todo lo que sea posible de la planta física existente. Cuando la fibra se conforma a los estándares SONET, puede ser usada.

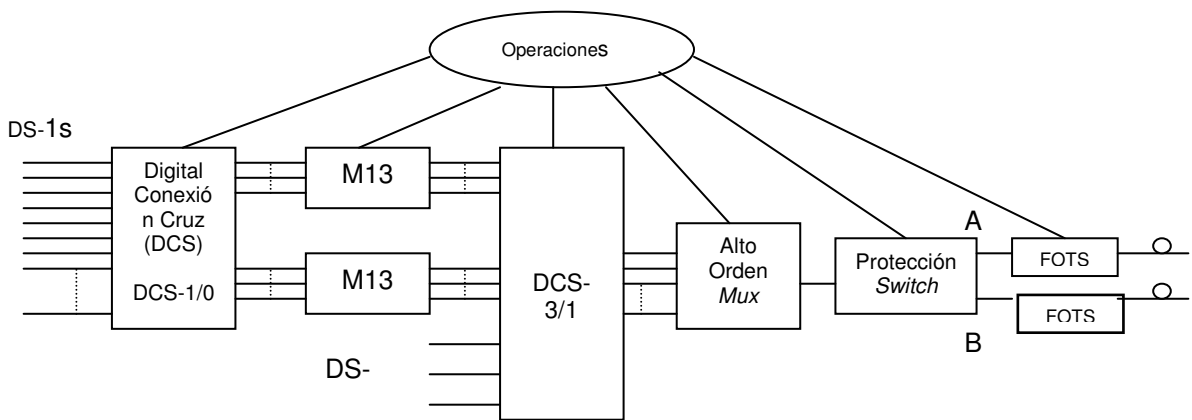
Naturalmente, de acuerdo a cuánto las conexiones en cruz y multitransmisores de entrada y salida existentes son retenidas para minimizar los gastos. Por lo tanto, un traslape SONET reemplaza los vínculos y circuitos de fibra no SONET uno por uno, sin ningún intento acordado de integrar el equipo SONET en una red SONET completa. El traslape es una practica común en las redes de carrier SONET.

Las dos grandes razones para el uso continuado de los retrasos SONET son fáciles de describir. Primero, la capacidad de los multitransmisores SONET para aceptar múltiples velocidades de datos (por ejemplo, DS-1s y DS-3s) ha reducido el equipo necesario para la creación de un enlace óptico de alta velocidad; por lo tanto, el gasto del equipo SONET es fácilmente iniciado por la cantidad reducida de equipo necesitado cuando la conversión a SONET es implementada. La segunda área de reducción de costo esta en las operaciones, administración, mantenimiento, y aprovisionamiento (OAM&P) de los enlaces SONET al compararlo al costo asociado con los enlaces propietarios. El equipo SONET cumple con los sistemas de operaciones estándar y permite un punto de entrada simple en la red para funciones OS.

La figura 32 muestra el despliegue de equipo de sistemas de carrier pre-SONET.

El equipo mostrado es un componente completo y es capaz de preparar los canales DS-0 en un sistema de fibra óptica de alta velocidad (por ejemplo, más grande que la velocidad DS-3 de 45 Mbps). *Preparación (grooming)* es el proceso de combinar y distribuir alimentaciones de muchas fuentes operando a varias velocidades en un circuito de velocidad más alta. *Preparación* es un paso gigante de simple multitransmisión, que es usualmente punto-a-punto. (A veces el termino “*hubbing*” es usado para describir el mismo proceso. El hub es donde la preparación ocurre.)

Figura 32. Sistema Pre-Carrier SONET



La *preparación* es una práctica común en los sistemas carrier y se hace por razones de eficiencia. Suponga que una oficina central tiene 10 T-1s viniendo de una ubicación de cliente y 7 de otro cliente en otra ubicación. Ya que los T-1s vienen de dos ubicaciones, puede parecer que dos sistemas de carrier separados se necesitan para enviar los T-1s a la red de circuitos y a su destino.

Un T-3 simple, sin embargo, puede llevar 28 T-1s. Tiene mucho más sentido preparar el tráfico de usuario e instalar equipo digital de sistema de conexión en cruz (DCS) para combinar el total de 17 T-1s en un T-3 simple. Por lo tanto, solamente se necesita un T-3 para agregar el tráfico de ambas ubicaciones en la columna vertebral del carrier. Generalmente, cuando la preparación corriente de tráfico, es llamada concentración o consolidación de tráfico, y cuando la preparación es usada para separar las corrientes de tráfico (como puede ser hecho en la oficina central opuesta), es llamada distribución o segregación de tráfico. Cualquiera que sea el nombre, la intención es la misma: hacer más eficiente el uso de circuitos y vínculos de alta capacidad que de otra forma son sub-utilizados.

En la figura 32 hay muchas partes de equipo. Para entender mejor estos dispositivos y el papel que juegan, y no coincidentemente como se relacionan a los dispositivos SONET equivalentes, se necesitan unas palabras para explicar. En la figura, el equipo y sus funciones incluyen lo siguiente:

- **DCS 1/0 --- Circuitos DS-1 y DCS-terminantes y canales DS-0 de conexión en cruz.** La designación “1/0” es usada para indicar que DCS maneja ambos DS-0s a 64 Kbps y el DS-1 completo operando a 1.5 Mbps. Algunos DS-0s de algunos sitios de cliente pueden terminar en otros sitios servidos por la misma oficina de switcheado. Los equipos DCS-1/0 manejan esta configuración de tiempo.

- **M13 --- Este es un multitransmisor DS-1 a DS-3.** La principal tarea del dispositivo M13 es la multitransmisión de hasta 28 circuitos DS-1 a un circuito simple DS-3. Por supuesto, el mismo dispositivo también puede desmultitransmitir. No todos los 28 DS-1 se muestran en la figura.
- **DCS 3/1 - circuitos DS-3 terminantes DCS y DS-1 de conexión en cruz.** La designación “3/1” es usada para indicar que el DCS maneja ambos DS-1 a 1.5 Mbps y los DS-3 operando a 45 Mbps. Note que puede haber algunos DS-3s que no emergen de un M13; estos son DS-3s descanalizados que operan a 45 Mbps, no como 28 DS-1s o 672 DS-0s. Como antes, algunos DS-3s de algunos sitios de cliente pueden terminar en otros sitios servidos por la misma oficina de switchhead. El equipo DCS-3/1 también maneja esta configuración de tiempo.
- **Multitransmisor de Alto Orden** - Otro dispositivo multitransmisor, pero sin capacidad de conexión en cruz. El *Mux* de alto orden combina múltiples señales DS-3 en una señal simple de alta velocidad. Este es un dispositivo puramente propietario, sin ni siquiera un formato de salida estándar. La mayoría de estos dispositivos combinan de 9 a 12 DS-3s en un enlace simple de fibra óptica operando en el rango de 1-2 Gbps.

- **Switch de protección** --- Este dispositivo envía la señal de transmisión de alta velocidad del *Mux* de alto orden a uno de los medios de transmisión de fibra óptica. Naturalmente, esto provee alguna protección de daño de cable de fibra y falla. Esta protección, en cambio, depende de cuan aparte se extienden los dos cables de fibra, lo que es conocido como direccionamiento diverso. Desafortunadamente, en el pasado, la diversidad fue definida como una separación mínima de solo 25 pies. Esto es generalmente traducido a una fibra en un lado del camino y otra fibra en el otro lado. Las operaciones de zanjeado a lo largo del camino frecuentemente separaban ambos cables decepcionando tanto a los usuarios como al carrier. El *switch* de protección esta controlado por los sistemas de operaciones por la condición de la señal óptica recibida. Generalmente, el *switch* es hecho automáticamente, pero el servicio debe ser restaurado automáticamente.
- **FOTS**- Los sistemas de transmisión de fibra óptica (FOTS) en el equipo que convierte la señal eléctrica en óptica y viceversa en el lado del receptor. Debería notarse que los FOTS y el *switch* de protección podrían ser transpuestos. Es decir, la salida del *Mux* de alto orden podría transmitir directamente a los FOTS, que alimentarían un *switch* de protección óptico. Esto tiene el beneficio agregado de requerir solamente un FOTS simple.

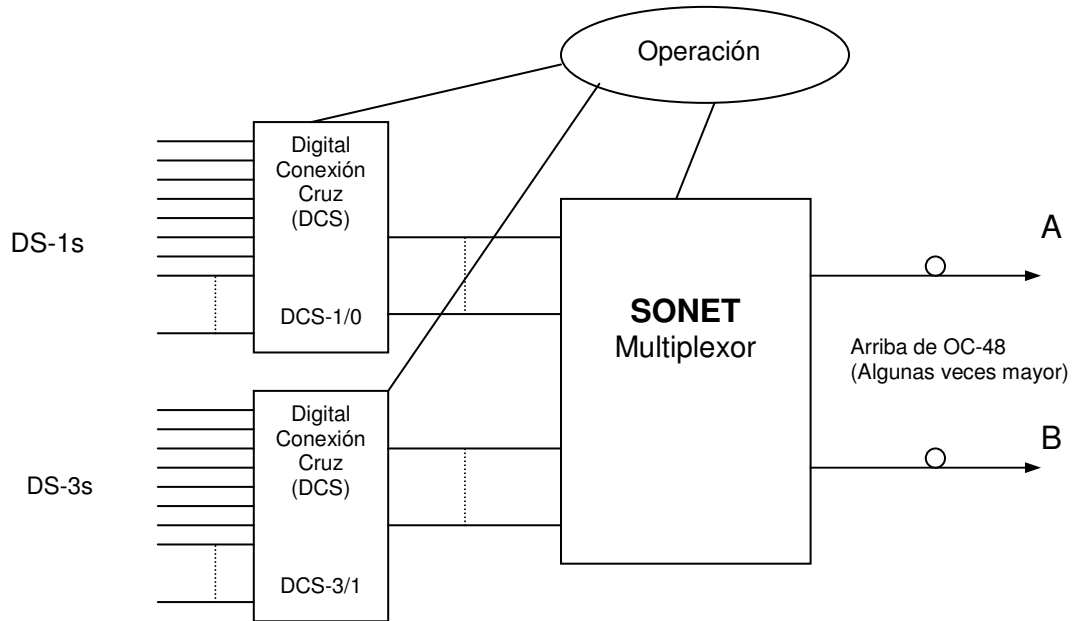
- **Operaciones** – Este es el centro de nervio para la operación de todo el sistema de transmisión, no solamente el simple vínculo mostrado en la figura 32. Todas las alarmas de equipo y las estadísticas de ejecución re-colocadas a este centro y todo el aprovisionamiento y control remoto es ejecutado aquí. Cada parte del equipo tenía su única marca de hardware y software de manejo de red, hardware y software de manejo de operación, operaciones en este complejo.

4.2 Sistemas de Carrier SONET

Los sistemas de carrier SONET puede ser contrastado con los sistemas de carrier pre-SONET en muchas formas; sin embargo, la forma más fácil es contrastar los requerimientos del equipo y diseño de los componentes. Un sistema típico de carrier es mostrado en la figure 33

Como puede verse fácilmente en la figura 33 los sistemas de carrier SONET reducen el complemento de equipo requerido para un sistema de transmisión al mínimo. La arquitectura de SONET permite una reducción en la complejidad del equipo que lleva las corrientes de información digital que no son SONET dentro del sistema SONET.

Figura 33. Sistemas de Carrier SONET



Ahora solo quedan el DS-1 y DS-3 DCSs izquierda, y estos se necesitan todavía para que el tráfico del *Tcarrier* vaya hacia adentro y hacia fuera del carrier de SONET. Por supuesto, las funciones de conexión y respuesta para DS-0s, DS-1s, y DS-3s que se originan y terminan en el mismo *switch* también se necesitan todavía. Sin embargo, el bulto de trabajo hecho por las muchas piezas de equipo separado es hecho por el multitransmisor de SONET. La multitransmisión de alto orden, el switcheado de protección y las funciones *FOTS* son todas hechas en la misma pieza del equipo SONET.

Este es otro ejemplo del poder creciente de los componentes electrónicos a través del tiempo.

Otra área en donde SONET reduce la complejidad es en soporte de operaciones. Los estándares de SONET también especifican el sistema OAM&P para la red de transmisión completa. Todo el equipo de operación de SONET debe seguir estos estándares e implementar estas funciones y capacidades. Esto permite que una plataforma de operaciones estándar controle todo el sistema de transmisión. Por supuesto, los vínculos anteriores del equipo DCS existente deben ser mantenidos, haciendo no del todo perfecta la situación.

El equipo de SONET también incluye un conjunto estándar de interfases de habilidad para el fácil mantenimiento y reparación. Las interfases de habilidad son aquellos puntos de conexión donde equipo de diagnóstico puede ser agregado por técnicos que ejecutan tareas de solución de problemas en el sitio. Las terminales o consolas en el centro de operaciones donde los técnicos manejan el equipo con interfases de software son llamadas también interfases de habilidad, pero el término es usualmente reservado para cuando agregados al equipo en si tienen problemas con algunas tareas.

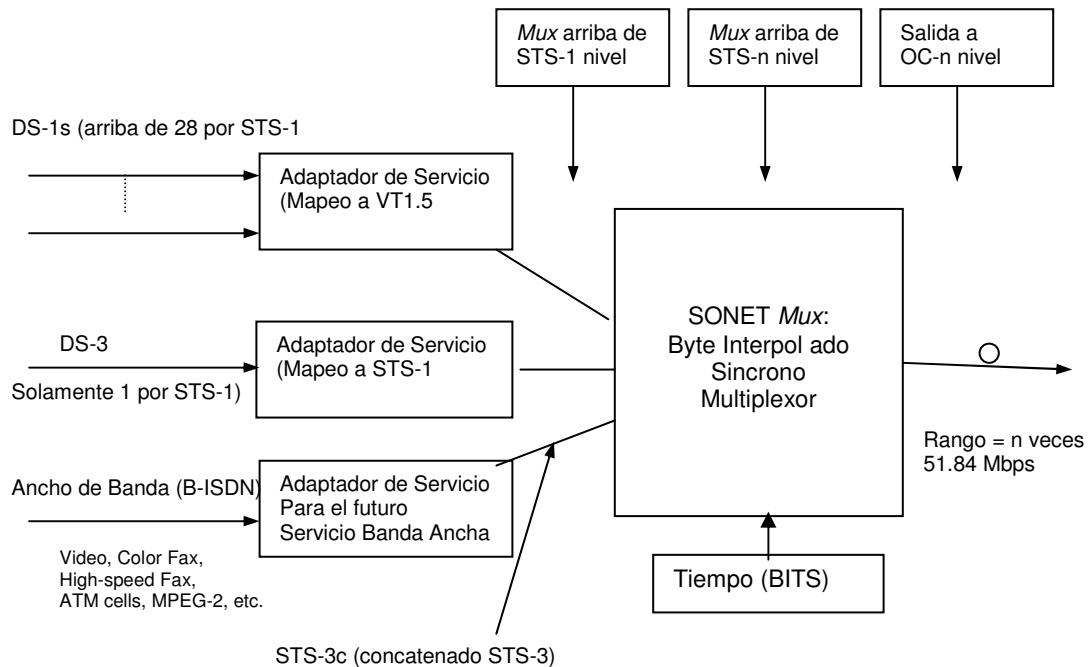
Una ventaja final del sistema de carrier SONET es la capacidad de actualizar el sistema de carrier a velocidades más altas sin el reemplazo completo del equipo de transmisión. Ciertas funciones de SONET permanecen igual sin importar la velocidad del carrier.

Por tanto, la caja del multitransmisor de SONET en la figura 33 no necesita ser reemplazada para permitir que los vínculos de fibra operen en OC-48 (alrededor de 24 Gbps, en lugar de OC-12 (alrededor de 622 Mbps). Después de todo, los puertos de entrada de los DCS, el switchhead de protección y las capacidades de manejo de red son exactamente las mismas sin importar la velocidad de salida. Típicamente, una tarjeta de procesador simple es todo lo que se necesita para cambiar la velocidad de salida. La mayoría de adiciones al puerto también envuelven meramente esta simple actualización de tarjeta, otro beneficio de la expansión de los microprocesadores a la red de transmisión. Este simple proceso de actualización permite actualizaciones económicas de sistemas de carrier.

4.3 SONET en Acción

Hasta ahora, la discusión de las redes SONET a consistido en reemplazar los componentes plesiocrónicos del *Tcarrier* con los componentes SONET; el proceso de revestimiento. Por supuesto, hay mucho más en SONET que el reemplazo del *Tcarrier*, aunque este aspecto de SONET nunca debería ser olvidado. SONET puede hacer mas, mucho más. La figura 4.3 muestra la operación de un enlace SONET que toma más ventaja de las capacidades únicas de SONET.

Figura 34. SONET en acción



Esta sucediendo mucho en la figura 34 y se requiere un examen mas detallado. En el lado izquierdo de la figura, se muestran las principales posibilidades de entrada para el enlace SONET. Note que los conocidos DS-1s y DS-3s aun están allí, pero se representan mas detalles en cuanto a sus operaciones exactas. Las salidas de un existente DCS-1/0, que es después de todo, solo otro DS-1 (o múltiples DS-1s), son agregadas en un grupo de 28 y enviados a un *Adaptador de Servicio* que muestra en un mapa los 28 DS-1 en un VT1.5 simple.

Aunque el adaptador de servicio en la figura 34 se muestra como un dispositivo físico separado, no necesita ser así y generalmente no es

así. Más frecuentemente, el adaptador de servicio es solo un tipo de tarjeta de procesador puesto dentro de un *slot* en el equipo SONET para manejar esa forma particular de entrada y salida. Los vendedores tienen sus propios nombres para los adaptadores de servicio, tales como adaptadores de puerto y tarjetas de interfase. En el caso del adaptador de servicio VT1.5 en la figura, la salida es una estructura STS-1 mapeada para VT1.5 y conteniendo hasta 28 DS-1s.

En el lado izquierdo de la figura también se muestra un DS-3 simple que puede ser conectado a su propio adaptador de servicio. Note la diferencia entre la adaptación a SONET de DS-1s a un DS-3 simple. Los 28 DS-1 requieren el uso de VT1.5 (principalmente para la visibilidad de la carga requerida de un DS-0), sin embargo, un DS-3 puede ser transportado directamente a una estructura SONET a través del proceso conocido como mapeo asincrónico. Esto puede ser deseable cuando el DS-3 en cuestión no se canaliza por si mismo, o cuando la visibilidad DS-0 no se quiere o necesita. Naturalmente, solo un DS-3 simple operando a 45 Mbps puede ser llevado por un enlace STS-1 operando a 51.84 Mbps.

Finalmente, la figura muestra un adaptador de servicio a ser usado para la futura implementación de servicios de banda ancha. El ancho y el rango de operación de los servicios de banda ancha son impresionantes,

pero la mayoría de las personas se enfocan en los servicios como video digital cambiado, SDV, por sus siglas en ingles, faxeado de color, faxeado de alta velocidad, transporte de células ATM a una estructura STS-3c o de velocidad mas alta, video digital comprimido MPEG2, y un numero de otros servicios tendrán su propio adaptador de servicios dependiendo de los servicios proveídos.

Es importante recordar que los servicios de ancho de banda transportados por los enlaces SONET deben ser manejados por los enlaces SONET operando a 155.52 Mbps o más rápido. La velocidad de 155.52 Mbps es la razón de cambio de STS-3. Además de ancho de banda, los STS-3 deben ser descanalizados, o más propiamente concatenados en lenguaje SONET, para operar al máximo de 155.52 Mbps. Este es un STS-3c o, más comúnmente pero menos técnicamente, un OC-3c. Un STS-3 sencillo consiste en tres STS-1, todos operando a 51.84 Mbps. Esto puede ser lo que quiere tanto el cliente como el proveedor, pero no para el transporte de servicios de banda ancha. Esta es la excepción que los adaptadores de servicios multitransmitirán al nivel STS-1.

Continuando a través de la figura, el mayor componente es el multitransmisor SONET en si mismo.

El multitransmisor SONET también ejecuta la conversión electro/óptica necesaria para enviar la señal SONET a través de la fibra en si. La información de tiempo de los BITS es también mostrada en la figura.

Una de las razones por la que los adaptadores de servicio pueden ser dispositivos separados, o incluso equipo de premisas del cliente (CPE, por sus siglas en ingles), es porque en la mayoría de los casos muchos STS son combinados, limpiados, y multitransmitidos a un enlace SONET sencillo de alta velocidad en la oficina de switchhead. Para ancho de banda, el adaptador de servicio debería ser también CPE.

En cualquier caso, el *mux* SONET combina y limpia los STS-1, STS-3 y los STS-3c, o cualquier combinación, en una estructura STS-n sencilla. La salida del *mux* SONET en este punto será por supuesto algún OC-n. Este OC-n operara a “n” veces la velocidad básica SONET de 1.84 Mbps. Es muy común hoy para este equipo SONET en una oficina de switchhead operar a la velocidad OC-48 de alrededor de 24 Gbps. Sin embargo, es posible que haya equipo de velocidad más alta y será más común en un futuro cercano.

Finalmente, aunque no se muestra en la figura, es bueno recordar que la fibra de salida no es típicamente una simple hebra de fibra. Más generalmente, la salida del *mux* SONET consiste en un par de fibras A y B con switchhead de protección SONET ejecutado en la parte del dispositivo o a través de alguna interfase de operación.

4.4 SONET y ATM

Mucho ha sido escrito en libros y artículos acerca de la relación precisa entre SONET y ATM. Algo de esta relación ha sido mencionado

antes en este documento porque uno de los últimos puntos fuertes hechos en este documento es que SONET es una tecnología de circuitos y no una tecnología de *switches* como ATM o incluso suplemento de estructura, este es el lugar para discutir la relación entre el equipo SONET y ATM de una forma mas completa. Puede haber una falsa impresión implícita por esta división *switchhead*/transporte. La impresión puede ser que no hay relación entre ATM y SONET. De hecho la relación ATM/SONET es profunda y precisa. Esta sección describe la relación ATM/SONET en mas detalle, y desde el punto de vista del equipo.

Simplemente, SONET está hecho para ser la red de transporte para una red ATM. Esta red, tanto con interruptores ATM y vínculos SONET, provee servicios de banda ancha a los usuarios. Si los servicios de banda ancha cumplen con una serie de servicios definidos por la ITU y los interruptores son ATM y los circuitos son SONET, entonces la red entera cumple con el estándar internacional B-ISDN. Todos los proveedores de servicio de hoy están enfocando hacia proveer servicios completos B-ISDN en el futuro porque ellos concluyen que B-ISDN será ultimadamente muy popular con clientes potenciales.

Naturalmente, estos proveedores de servicio quieren construir una red que no tiene que ser re-ingeniada para B-ISDN en una fecha futura. El precio de reemplazar todos los interruptores al final de los vínculos SONET con ATM, o reemplazar todos los vínculos entre los interruptores ATM con los vínculos SONET será mucho más alto, incluso en el futuro

remoto. Es mejor construir la combinación B-ISDN de los interruptores ATM y los vínculos SONET de una sola vez y salir de eso.

Por ahora, el asunto es un poco más complejo. La situación es un poco diferente, principalmente debido a la lentitud de los servicios B-ISDN en comparación al equipo y tecnologías SONET y ATM disponibles. No existe un conjunto completo de servicios B-ISDN, excepto en un nivel muy alto en algunos documentos ITU. Los usuarios y proveedores de servicio hoy en día juntan a la fuerza redes de banda ancha y servicios basados en ATM con acuerdos de implementación de fuentes como el foro ATM. Esto no es necesariamente malo, pero señala que SONET y ATM se han separado de B-ISDN e incluso uno del otro. Esto es, no es usual ver “servicios” ATM proveídos por medio de redes de transporte que no sea SONET o ver a SONET ofrecido solo como otro “servicio” de línea rentada de alta velocidad sin la participación de ATM.

La razón para la combinación de switchheado ATM y vínculos SONET dentro de las redes de servicio B-ISDN en redes simples de banda ancha es simple.

Las redes de banda ancha se caracterizan por retrasos de red bajos y estables para soportar aplicaciones que requieren operaciones interactivas (por ejemplo voz y videoconferencias) e ancho de banda intensivo alto (por ejemplo aplicaciones de gráficas de red cliente-

servidor o videoconferencias). Note que algunas aplicaciones (por ejemplo videoconferencias) comparten los requisitos gemelos de retrasos bajos y estables así como altos anchos de banda.

Los retrasos de red tienen dos causas: primero, el ancho de banda puede no ser suficiente para que los bits viajen lo suficientemente rápido en la red desde la fuente hasta el destino. Tales aplicaciones están ligadas al ancho de banda y no funcionarían adecuadamente sin un ancho de banda abundante. Obviamente esta es la función de SONET en una red B-ISDN: suplir el ancho de banda para aplicaciones de ancho de banda que no están ligadas al ancho de banda. La habilidad de la escala SONET ciertamente ayuda. Cuando OC-3 operando a más o menos 155 Mbps no es suficiente ancho de banda, los OC-12 operando quizá a más o menos 622 Mbps funcionarían.

Algunas aplicaciones son más afectadas por el retraso en la red de la fuente al destino. Si el retraso de red fuera muy alto, o muy variable o inestable, la aplicación no funcionaría. La voz es siempre un buen ejemplo. Las necesidades de voz en términos de ancho de banda son bastante modestas para los estándares de hoy (no siempre fue así). Los 64 Kbps que se necesitan para la voz son fácilmente proveídos por varios medios.

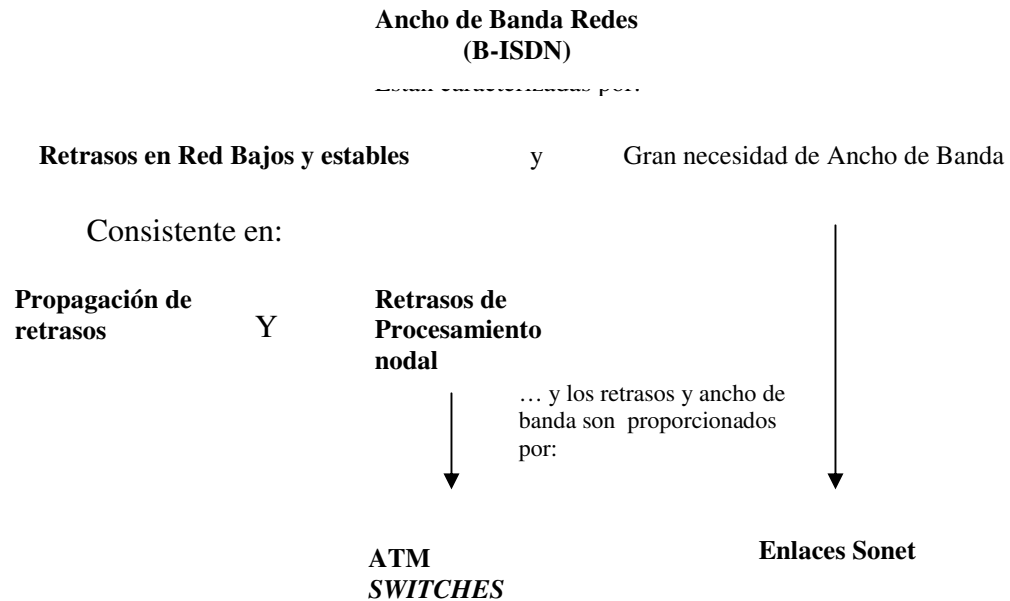
Las aplicaciones, que son más sensibles que el ancho de banda a los retrasos de red bajos y estables, son conocidas como aplicaciones ligadas al retraso.

Cierto retraso puede ser eliminado con más ancho de banda, pero la mayoría de aplicaciones ligadas al retraso, tales como la voz, no se beneficiaran con más ancho de banda. La voz a 128 Kbps no operara mejor que la voz a 64 Kbps cuando para empezar, el retraso no es lo suficientemente bajo y estable. Por lo tanto, los retrasos de red bajos y estables son más afectados, por supuesto, por el ancho de banda. No importa cual sea el ancho de banda, la señal tomara mas tiempo en llegar al destino que esta mas lejos que el que esta mas cerca. Esto es física simple. Cuando el tráfico internacional de voz comenzó a ser guiado a través de satélites de comunicaciones geosincrónicas, muchos argumentan que los retrasos eran mucho más altos para las aplicaciones de voz. Sin importar las preocupaciones, nada se pudo hacer acerca de los largos retrasos debido a los vínculos con los satélites, tanto hacia arriba como hacia abajo.

El otro componente del retraso de red es el retraso de procesamiento nodal. Ya sea que los nodos de red sean routers, interruptores de la oficina central, o algo mas, se necesita una cantidad finita de tiempo para que los bits entren a un puerto de entrada en un dispositivo de red y salgan del puerto de salida. Aquí es donde encaja ATM.

Sin embargo, ya que ATM y SONET están íntimamente relacionados, un repaso breve de lo que los interruptores ATM le agregan a los vínculos SONET no está fuera de orden.

Figura 35. ¿Porque? Y ¿Como? Sonet y ATM están relacionados



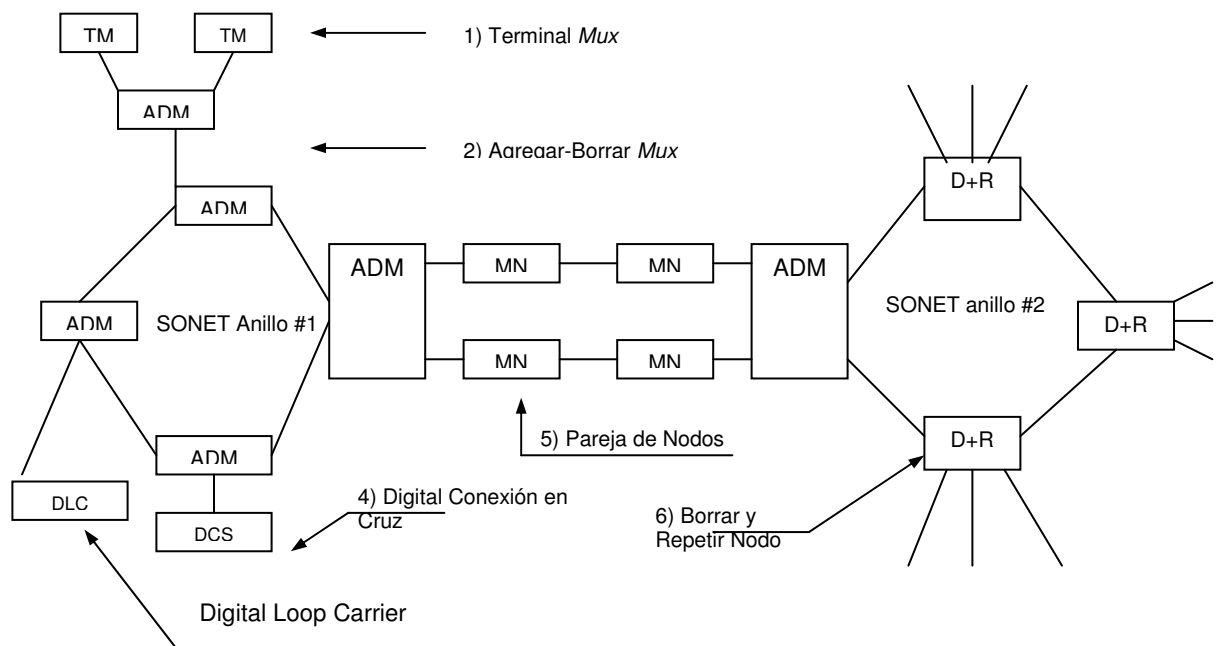
ATM es el estándar internacional para la tecnología de transmisión celular. En la transmisión celular, las unidades de datos son divididas en partes más pequeñas (las células) para facilitar el procesamiento de nodo de red. El resultado final es multitransmisión y switchheado más efectivos. ATM provee el retraso de procesamiento nodal bajo y estable y, por lo tanto, el retraso de red bajo y estable en general que se necesita para todo el espectro de servicios de banda ancha. Esta relación entre los interruptores ATM y los vínculos SONET es ilustrada en la figura 35.

4.5 Componentes SONET

Hasta ahora, mucha de la discusión del equipo SONET ha girado en torno a vínculos simples, y solamente el lado de envío de estos vínculos. No es que la recepción sea más compleja. Casi cualquier figura en el

texto pudo tener un espejo instalado al margen del lado derecho para reflejar el enlace de fibra y todo a la izquierda del mismo. Todos los multitransmisores SONET también separan las múltiples señales en múltiples transmisiones, y los adaptadores de servicio no solo adaptan de *Tcarriers* a VT1.5 y similares, sino también de VTs a *Tcarriers*.

Figura 36 Mayores Componentes SONET



Sin embargo, la redes SONET consisten en más que enlaces simples. De hecho, las redes SONET pueden ser bastante complejas. La figura 36 muestra los componentes mayores de una red SONET de enlaces múltiples, tal como puede ser desplegado por un carrier mayor en

un área metropolitana hoy en día. La documentación SONET se refiere a estos componentes como elementos de red, NES, por las siglas en inglés.

Ya que hay más que enlaces simples involucrados en la red, el horario de red y la distribución del tiempo se vuelven más críticos cuando se necesita la conexión DS-n. Note que algunos de los componentes SONET forman anillos en el diagrama. Los anillos SONET se han convertido en una característica distintiva de los teléfonos. Ambos son simplemente una manera mucho mejor de sí mismos. Pero este es el lugar para introducirlos.

Como se muestra en la figura 36 hay seis elementos principales de red que pueden ser usados en las redes SONET. Estos están identificados en la figura de la siguiente forma:

1. *Multitransmisor Terminal (TM)*. Un dispositivo de “punto final” en la red SONET. Este dispositivo actúa como el padre de bytes que serán enviados en el enlace de red SONET y trae bytes en el otro lado de la red. Un TM está diseñado para ser el tipo más común de CPE SONET, pero irónicamente es aun ranillo el sitio del cliente. En la mayoría de configuraciones SONET actuales, el TM es aun encontrado en la oficina del servidor.
2. *El multitransmisor para agregar/soltar (ADM)* es realmente solo un TM “full equipo”. Sin embargo, es más adecuado referirse al TM como un ADM operando en lo que es conocido como “modo

terminal". Este dispositivo usualmente se conecta a varios TM y agrega o separa el trafico SONET en varias velocidades.

3. *Carrier de loop digital (DLC)*. Este dispositivo SONET es usado para unir oficinas servidores con loops análogos ordinarios locales de cobre enrollado en pares para soportar grandes números de usuarios residenciales in lo que es conocido como un área de servidor de carrier (CSA). Estos dispositivos también son comúnmente llamados terminales de fibra remotas (RFTs) por muchos vendedores.
4. *Conector digital (DCS)*. Este dispositivo SONET puede agregar o soltar canales SONET individuales (o sus componentes en un ambiente VT) en una ubicación dada. Es básicamente una versión más sofisticada de un ADM SONET.
5. *Nodos pareados (MN)*. Estos dispositivos SONET interconectan anillos SONET. Proveen una vía alterna para las señales SONET en caso una falla del equipo. Esta función es comúnmente conocida como protección de señal, pero tiene una variedad de nombres.
6. *Nodos para soltar y repetir (D+R)*. Estos dispositivos son capaces de separar las señales SONET y enviar copias de bytes a dos o más vínculos de salida. Los dispositivos serán usados para conectar dispositivos DLC para servicios de video (o incluso voces) residenciales.

La figura 36 muestra un despliegue de red mas completo que explota las funciones de SONET. Debería ser notado que no hay designaciones oficiales para las varias piezas de equipo SONET mostradas en la figura. Aunque la figura generalmente sigue la terminología de vendedores de equipo SONET tales como *Nortel Networks*, es común para los vendedores tener sus propios nombres para los dispositivos mostrados en la figura. Sin embargo, el énfasis aquí es en la función, no mucho en los nombres en si. El equipo encontrado en esta red es separado en equipo terminal de oficina central y equipo de planta exterior.

El equipo de oficina central consiste de un *switch* compatible con SONET (por ejemplo, *switch* de conexión digital) y equipo de carrier de loop digital. Este equipo forma el punto terminante de red para los servicios de transporte SONET.

El equipo de planta exterior consiste de una topología de anillo de fibra para la sobre vivencia, y multitransmisores de acceso para este anillo. Los multitransmisores son funcionalmente separados en dos categorías, TMs y ADMs.

Los TMs son funcionalmente similares a los bancos de canales en las redes T-1. Proveen conversión de los medios de transmisión que no son SONET al formato SONET. Los multitransmisores de agregar/soltar son un componente integral de la arquitectura SONET, permiten acceso a la red de transmisión SONET sin separar completamente las múltiples

señales SONET. Las señales que no son SONET pueden ser agregadas o tomadas de la señal de transmisión SONET usando este equipo. Las diferencias entre TMs y ADMs SONET son generalmente sólo una diferencia en la ubicación de la red y en función, en vez de una diferencia fundamental o intrínseca. La figura 4.6 muestra la diferencia principal entre un ADM SONET y un TM SONET, que es realmente solo un ADM operando en “modo terminal”.

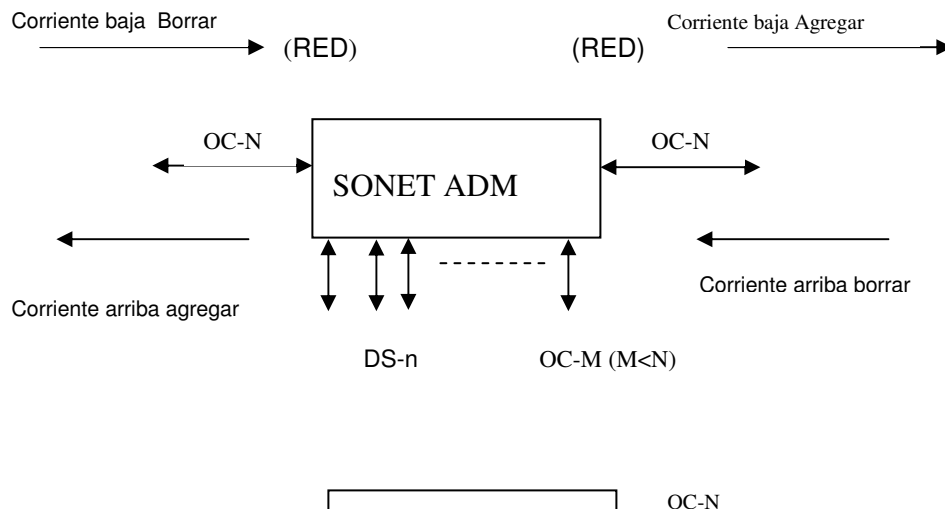
En la figura 37, la mayor diferencia entre un ADM y un TM SONET es que el ADM SONET tiene dos conexiones de red que deben ser iguales. Los canales, o incluso otros OCs (mientras sean menos que el OC de red), pueden ser soltados o agregados como se desee. Estos canales OCs pueden guiar a TMs SONET, por supuesto. Por otro lado, un TM SONET tiene solamente una conexión de red. El “modo terminal” solo multitransmite varias escalas hacia y desde este enlace de red simple. El punto es permitir (relativamente) acceso de usuario de “baja velocidad” a la red SONET. El acceso de usuario puede ser a escalas DS-3 o incluso OC-3, siempre y cuando el vínculo de red pueda manipular la velocidad.

Físicamente, el equipo SONET descrito es de tamaño bastante modesto. Los electrónicos de estado sólido que caracterizan SONET resultan en componentes que son típicamente montados en perchas en gabinetes de comunicaciones estándar. Los requerimientos de potencia son también correspondientemente modestos.

La figura 37 puede no ser clara en cierto sentido. La figura implica que las seis mayores funciones de SONET NE podrían encontrarse en todas las redes SONET grandes y con igual probabilidad. De hecho, la verdad es justo lo opuesto. Los paquetes SONET NE ofrecidos por la mayoría de vendedores de equipo son primero y más que todo, ADMs. Muchas de las otras funciones NE son agregadas (o quitadas) del paquete ADM básico para producir el NE requerido para la aplicación. Así que un ADM con interfases no SONET y una interfase SONET simple se vuelve un paquete SONET TM. Las funciones DCS pueden ser agregadas al ADM en la misma forma, pero esto casi no se hace.

La mayoría de DCS permanecen adjuntos al ADM. Si los ADMs tienen enlace múltiple usado para conectar sus anillos, esto hace un par de ADMs en nodos pareados. En otras palabras, la función MN es sólo otra función del ADM. El paquete ADM/TM/MN es normalmente lo que un vendedor de equipo SONET enfatiza, y eso podría ser todo. Si un DCS NE SONET es ofrecido, no es usualmente una función ADM, sino equipo separado. En conjunto, las funciones D+R y DLC pueden ser referidas en la misma forma. El D+R NE es ADM especial. El DLC es un TM especial optimizado para aplicaciones residenciales de voz.

Figura 37 SONET ADM Y TM



En resumen, los vendedores de equipo SONET típicamente ofrecen un paquete ADM básico en tamaños más pequeños o más grandes. Los ADMs pequeños hacen TMs y DLCs grandes con las tarjetas de línea y funciones asociadas correctas. ADMs más grandes hacen nodos D+R muy buenos y la función MN es usualmente solo otra tarjeta de interfase en la unidad ADM para interconectar anillos. Así que la misma línea de producto básico puede ser un dispositivo ADM, TM y D+R, MN, y DLC todos en uno. Solo depende de la configuración precisa de hardware y software. El raro NE es el DCS. La conexión en cruz siempre ha sido una función compleja de configurar y controlar. En SONET, generalmente es mejor dejar esta tarea para equipo mas especializado.

Raramente, esto significa que un ADM SONET esta ocupado extrayendo DS-1s y DS-0s de estructuras SONET solo para que los DS-1s y DS-0s se puedan enviar a través de la habitación de los DCS de legado para conexión en cruz. El tráfico redistribuido viene entonces de regreso al ADM para reempacarse en estructuras SONET salientes.

5. SONET SERVICIO y UTILIZACIÓN

Este capítulo ve el SONET en varias configuraciones de red, hace comparaciones a las redes *T-carrier* en cada paso del camino, tanto para propósitos de familiaridad así como para mostrar como SONET mejora en

escenarios T-*carrier*. El tema de SONET está ligado con el tema de la distribución de fibra, después de todo SONET no aparecerá hasta que la fibra este allí, por medio de la cual SONET pueda operar. Esto no quiere decir que todo el cable de fibra óptica es fibra SONET. Mucha de la fibra aún soporta varios tipos de vínculos DS-3 y los niveles propietarios más altos de los días pre-SONET. Pero la vasta mayoría de millas de instalación de nueva fibra son completamente diseñadas para SONET.

Antes de mirar los escenarios particulares del de SONET, este puede ser un buen tiempo para echar un vistazo al constantemente creciente paso de instalación de fibra en general y SONET en particular.

5.1 Ethernet *Gigabit* SONET/SDH, DWDM, y Fibra

No hace mucho tiempo, cuando la fibra era administrada por un proveedor de servicio, era muy dado por hecho que la fibra sería usada para SONET y/o SDH. Esto ya no es cierto. Como se ha señalado anteriormente, DWDM y la red óptica han cambiado las reglas por las que SONET/SDH esta preocupado hoy en día.

Una completa exploración del futuro de SONET es un mundo dominado por técnicas y tecnologías más nuevas tales como Ethernet *Gigabit* (GBE) y DWDM. Por ahora, es suficiente señalar que, aunque las velocidades del de fibra nunca han sido más altas; SONET y SDH no son más el único juego del vecindario.

Algunas de las características de administrar fibra diseñada para DWDM han sido examinadas antes y no necesitan ser repetidas. Ethernet *Gigabit* no ha sido mencionada antes, pero es básicamente una extensión de la tecnología LAN de base T 10/100 para correr en fibra no solo a corta distancia, sino que a través de espacios de hasta 20 km. (13 millas) de longitud. De hecho, los productos comerciales GBE existen para extender el alcance de GBE a 120 km. (75 millas) sin amplificadores ópticos, y hasta 1,000 km. (620 millas) con ellos.

El punto aquí es que si las estructuras GBE pueden ser enviadas directamente por fibra a 100 o 1000 km., que necesidad hay que una solución WAN como un tema completo pertenezca al último capítulo de este documento. Todo lo que se necesita aquí es una apreciación del valor de la “fibra oscura” al contrario de las ofertas del proveedor de servicio tradicional de “fibra clara”, tal como SONET.

La fibra lleva señales del transmisor al receptor. Pero ¿quién es el dueño del transmisor y del receptor? ¿Quién es el dueño de la fibra? En el pasado, la misma entidad poseía ambos casi universalmente.

Los proveedores de servicio que vendían capacidad de sobra en sus vínculos y estructura SONET/SDH siempre controlaban los transmisores y receptores (y cualquier generador en el camino, por supuesto). El proveedor de servicio “alumbró la fibra”.

Hoy en día, hay generalmente un rompecabezas para instalar y controlar la fibra oscura. Es la fibra que parece tener un valor intrínseco ahora, no tanto como los transmisores y los receptores. El equipo final crece, es actualizado y cambia la capacidad muy seguido. Y los precios del equipo final siempre parecen ir hacia abajo. No así con los precios de instalación de fibra. El precio de la fibra en si puede caer, pero la instalación es aun una actividad de labor intensiva, y aunque la productividad puede incrementar marginalmente, los costos de labor siempre suben.

Un T-*carrier* grande de intercambio interno estima el costo por milla de instalación de nueva fibra a alrededor de \$70,000 por milla, o un poco mas de \$13 por pie. Aun cuando se usen conductos o bancos existentes, los costos aun exceden los \$30,000 por milla. No por gusto tienen valor hoy en día las millas de ruta de fibra, no tanto las señales que las fibras llevan.

La presión hoy en día es poseer tanta fibra como sea posible, no necesariamente ancho de banda. La misma fibra podría llevar potencialmente mucho más ancho de banda que en el pasado, especialmente con DWDM en la ecuación.

Es la fibra oscura la que tiene valor, no el SONET/SDH que se podría poner a través de ella. Aun más extraño, dado que la fibra es un cable, con solo tener el derecho de administrar la fibra en algún lugar tiene un valor tremendo basado solamente en el potencial de administrar la fibra algún día.

Habrá muchos SONET/SDH pasando por fibras por algún tiempo más, pero siempre y cuando la fibra se administre hoy en día, SONET/SDH no es el único posible o aun probable uso.

5.1.1 La función de SONET

Ya que SONET representa mucho ancho de banda, puramente o simplemente,  para qué se necesita todo este ancho de banda? Mucho del ancho de banda SONET será usado para el mismo tipo de aplicaciones en uso hoy en día, junto con muchos nuevos servicios. Muchos de estos nuevos servicios son definidos por las especificaciones B-ISDN, pero en algunos casos, las especificaciones ATM del foro ATM se traslapan de alguna forma con las definiciones de servicio B-ISDN. Sin embargo, el uso de SONET no está restringido en ninguna manera a servicios nuevos.

La mayoría de servicios existentes todavía pueden tomar una buena ventaja de los enormes anchos de banda que SONET es capaz de proveer. La tabla III muestra los resultados de una encuesta de la idea *Factory* hecha en marzo de 1996.

No sorpresivamente, la mayoría de organizaciones usuarias dijeron que necesitaban más ancho de banda, especialmente en sus vínculos WAN, para aplicaciones visualmente intensivas, tales como videoconferencia y aplicaciones de gráficas. Tales aplicaciones de gráficas incluyen, por ejemplo, visualizaciones científicas y CAD/CAM (por ejemplo de moléculas de datos sísmicos).

Tabla IV. Aplicaciones con Necesidad de mas Ancho de Banda
Para Usuarios de Idea *Factory Survey*

Videoconferencias	64%
Aplicaciones Graficas (CAD/CAM,visualizaciones)	60%
Batch File transfer (ftp)	58%
Acceso y búsqueda Base de datos local	57%
Acceso y Búsqueda Base de datos Remota	39%
Procesamiento de Transacciones (SNA)	36%
e-mail Interno	33%
e-mail Externo	31%

Las organizaciones usuarias también necesitan más ancho de banda para cosas tan comunes como transferencia de archivos y acceso a base de datos. Mientras la computación distribuida usando aplicaciones LAN cliente-servidor se vuelve aun más común de lo que es ahora, esta necesidad solamente aumentara.

Esto es generalmente pasado por alto con preocupaciones altamente publicitadas acerca del ancho de banda para los servicios más nuevos.

Aun las aplicaciones tan comunes y relativamente de baja velocidad tales como las transacciones SNA y el correo electrónico no son la lista. Hay simplemente mucho trafico en la red que más ancho de banda es un

requisito, no un lujo. Después de todo, muchas de las LANS a las que estos usuarios están adjuntos operan ahora a 100 Mb por segundo o mejor. Es difícil, si no imposible, vincular estas con líneas rentadas de 64 Kb por segundo. Las preocupaciones de la Web y del comercio electrónico solo han ayudado a extender esta presión de ancho de banda también al usuario residencial.

5.1.2 Red de vías electrónicas *T-carrier*

Antes de mostrar como SONET se desarrolla en acceso, circuitos, y redes regionales, sería una buena idea contrastar a SONET con el *T-carrier* en estos aspectos. Después de todo, un tema recurrente en este documento ha sido comparar constantemente los métodos del *T-carrier* con las mejoras y modificaciones SONET en todas las áreas de operaciones de red. Debería notarse mas adelante que muchas de las ideas y escenarios en las siguientes secciones están basadas en las categorías de equipo y plantas de *Nortel Networks*.

Además de reconocer este débito, se debería tener en mente que otros vendedores y usuarios de SONET pueden diferir de alguna forma en sus mayores características de arquitectura de SONET en el acceso, circuitos y redes regionales.

La red de circuitos tradicional de *T-carrier* ha sido usada en Norte América desde los 1960s. En la red de *T-carrier*, los nodos de *switches* en las oficinas de *switches* están vinculados por el *T-carrier*

El punto principal es que los canales entre las oficinas están usualmente limitados a cierto número de canales de 64 Kb por segundo, y todas las otras limitaciones de trabajar con *T-carrier* aplican. Estas limitaciones incluyen la necesidad de equipo de multitransmisión espalda a espalda (back to back) y de caída compleja y arreglos de inserción que ya han sido detallados en porciones anteriores de este documento.

5.1.3 Red de acceso de *T-carrier*

En una red típica de *T-carrier*, el acceso del cliente a la red de circuitos de *T-carrier* tiene sus propias características distintivas. El nodo de *switched*, u oficina de servidor local, contiene el punto final de la red de circuitos de fibra, que es normalmente un dispositivo de sistema de terminación de fibra óptica (FOTS).

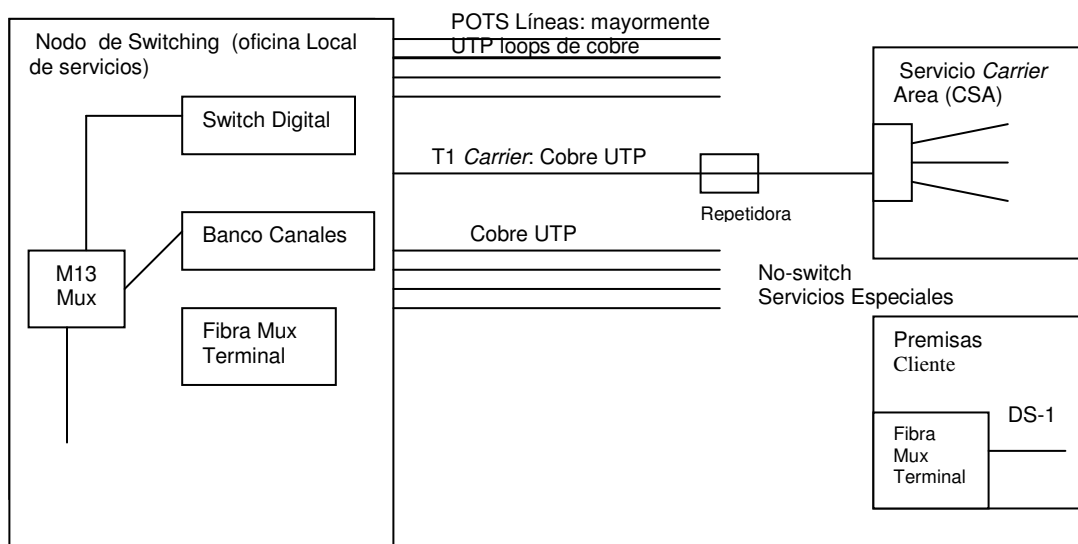
Este dispositivo está conectado al multitransmisor M13 y a terminales multitransmisoras de fibra a otros dispositivos. El multitransmisor está conectado, a su vez, al switch digital en sí mismo y a los bancos de canales para los loops locales análogos digitalizadores que van hacia los usuarios.

El acceso a la oficina de servidor es hecho con una combinación de métodos. Los usuarios finales de telefonía con teléfonos análogos son

atendidos por loops locales de servicio telefónico antiguo sencillo (POTS) de cobre de par enrollado sin escudo (UTP). Alternativamente, un T-1 podría correrse a un dispositivo de terminal remota (RT) de T-*carrier* de loop digital remoto (DLC) y loops locales de cobre de par enrollado (UTP). Alternativamente, un T-1 podría correr a un dispositivo de terminal remota de T-*carrier* de loop digital remoto (DLC) y los loops de alambre de cobre de par enrollado se extienden a todas las ubicaciones en el área de servicio del T-*carrier* (CSA). El vínculo DLC podría ser fibra también, llevando a un arreglo de terminal de fibra remota (RFT), pero el efecto es el mismo.

El alambre de cobre UTP es también usado para proveer líneas rentadas (por ejemplo, servicios especiales no *switcheados*) para aquellos usuarios que desean estos servicios. Finalmente, el cable de fibra óptica más nueva puede abarcar directamente varias premisas de los clientes para proveer líneas rentadas DS-1 u otros servicios. Esta arquitectura es mostrada en la figura 39.

Figura 39. Una Típica red de acceso T-*carrier*

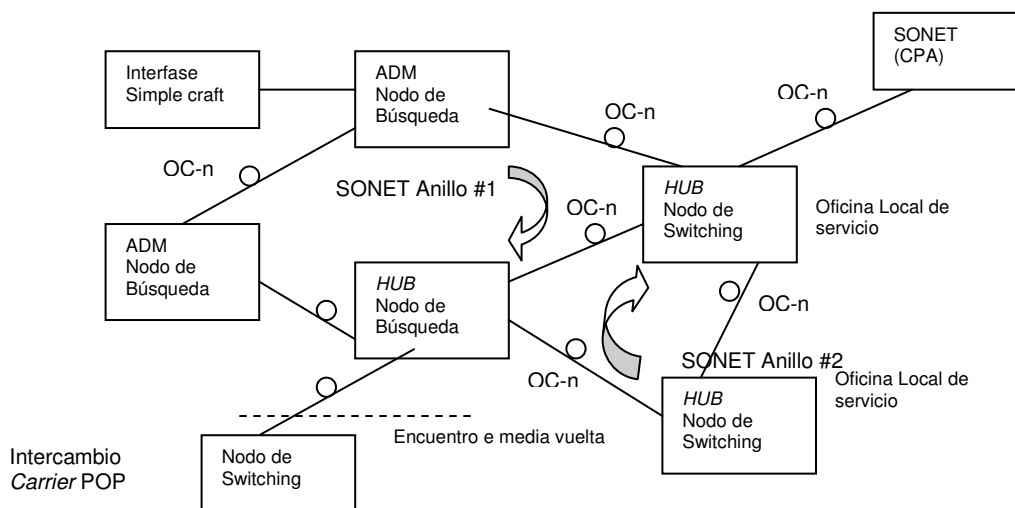




1.4 Red de circuitos SONET

Después de dar un breve vistazo a como se unen las redes de acceso y las redes de circuitos del *T-carrier*, este es el tiempo para ver como las redes SONET son desarrolladas para lograr los mismos fines. Ahora será más fácil comparar y contrastar a SONET con el *T-carrier* con la intención de hacer las ventajas de SONET mucho mas concretas.

Figura 40 Una red de circuitos electrónicos SONET



Una red de circuitos SONET es mucho más simple y aun mucho más robusta que una red similar de *T-carrier*. Los nodos de *switches* SONET, ya sea conteniendo multitransmisores agregar/soltar (ADM) o *hubs* SONET (que combinan las capacidades SONET ADM con capacidades de sistema de conexión digital (DCS) para limpieza y otros propósitos), están ahora configurados como una serie de anillos SONET interconectados. El uso de anillos SONET en la red de circuitos asegura disponibilidad y confiabilidad más alta para los circuitos.

Los vínculos SONET OC-n también pueden correr directamente a las premisas del cliente, si el cliente tiene instalado equipo de premisas de cliente (CPE) SONET. Esto es inusualmente admitido en mas ambientes de clientes actuales.

Es mucho más típico para los anillos SONET llevar velocidades T-1, T-1 fraccional, T-3 fraccional, y T-3 completas en lugar de cualquier servicio SONET directo. Pero los anillos hacen las ofertas de los clientes de *T-carrier* mucho más robustas y libres de error. Una red típica de circuitos SONET es mostrada en la figura 40.

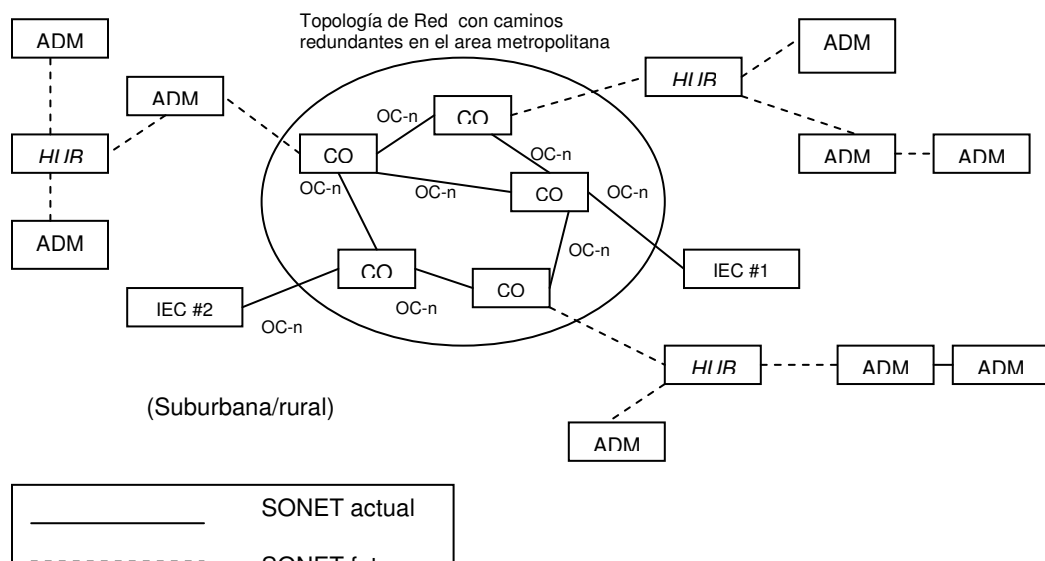
SONET también ofrece la posibilidad de un cumplimiento de mediano periodo para el rendimiento de red de monitoreo de interfase. A

grosso modo, SONET es más simple y más eficiente que la anterior red de circuitos de T-carrier.

5.1.5 Red regional SONET

Un especialmente buen futuro de SONET es la habilidad de extender la red de circuitos de áreas de servicio centralizadas a redes SONET regionales que incluyen áreas suburbanas e incluso rurales. Tales redes de área regional no tienen contraparte real en el mundo del T-carrier, pero son una estructura y arquitectura que SONET permite desplegar fácil y efectivamente.

Figura 41. Una Red Regional SONET



La red de circuitos y anillos SONET de la sección anterior esta aun en discusión y, por supuesto, los vínculos a los T-*carriers* de intercambio interno aun son SONET también. Sin embargo, ahora es posible extender los beneficios de SONET a un área más amplia (por ejemplo, regional) por la adición de varios vínculos OC-n a los ADM SONET y ubicaciones de *hubs*. Los *hubs* combinan equipo ADM SONET y capacidades DCS en la misma ubicación. Este general para las redes SONET regionales es mostrado en la figura 41.

Estos *hubs* y ADM SONET están ubicados lejos de las áreas de tráfico de alta densidad y extienden los beneficios de SONET a ubicaciones que eran inalcanzables para servicios avanzados anteriormente. En áreas urbanas, los anillos SONET proveen vías robustas y redundantes. Las áreas suburbanas y rurales pueden aprovechar esta estructura urbana también. Note que el desarrollo SONET a este nivel es un proceso que continua, basado en la presencia de SONET en un área urbana antes de extender los servicios SONET a áreas menos densamente pobladas.

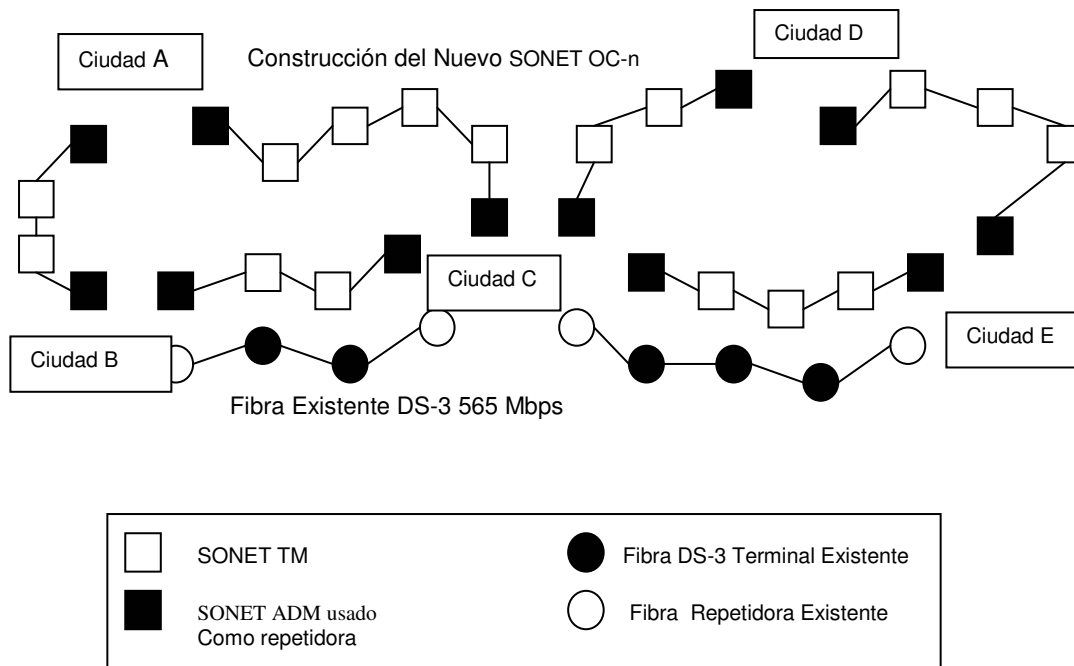
5.1.6 Red de larga distancia SONET

Hasta ahora, las redes SONET mencionadas han estado concentradas en las áreas metropolitanas mayores y, sin importar la promesa de extender SONET hacia áreas más rurales y lograr cobertura regional, estos desarrollos apelan mayormente a los LEC. Pero la habilidad de escala y flexibilidad de SONET también lo hacen atractivo para los IXC que generalmente usan SONET para crear redes de larga distancia entre ciudades grandes.

SONET es usado en muchas redes de larga distancia construidas por los IXCs o LECs que entran al mercado inter-LATA.

Una red de larga distancia SONET despliega una red de transporte de ancho de banda alto OC-n (usualmente OC-48 o en ocasiones el aun mas alto OC-192) a través de una red existente de fibra de punto a punto (usualmente una red FOTS a 565 Mb por segundo u otra velocidad con múltiples DS-3 en un sistema de fibra no estándar). El equipo de red principal es un ADM SONET grande (generalmente muy grande) usado tanto en configuraciones de terminal y repetidora y manejando el tráfico en la red de larga distancia.

Figura 42 Una Red de Larga Distancia SONET



Esta estructura general es mostrada en la figura 42. En la figura, el equipo SONET es mostrado como símbolos cuadrados y el equipo FOTS DS-3 no estándar es mostrado como símbolos redondos.

La construcción SONET puede “traslapar” las rutas FOTS existentes o ser completamente construcción nueva de fibra diseñada para “cerrar los anillos”. Naturalmente, esto podría ser hecho muy tarde, dependiendo del horario de desarrollo del proveedor de servicio y de los presupuestos de uso de capital.

Estas otras rutas entre ubicaciones, incluyendo muchas de aquellas no previamente atendidas por FOTS, podrían ser agregadas a la red SONET para cerrar los anillos en la red. La red antigua puede no haber

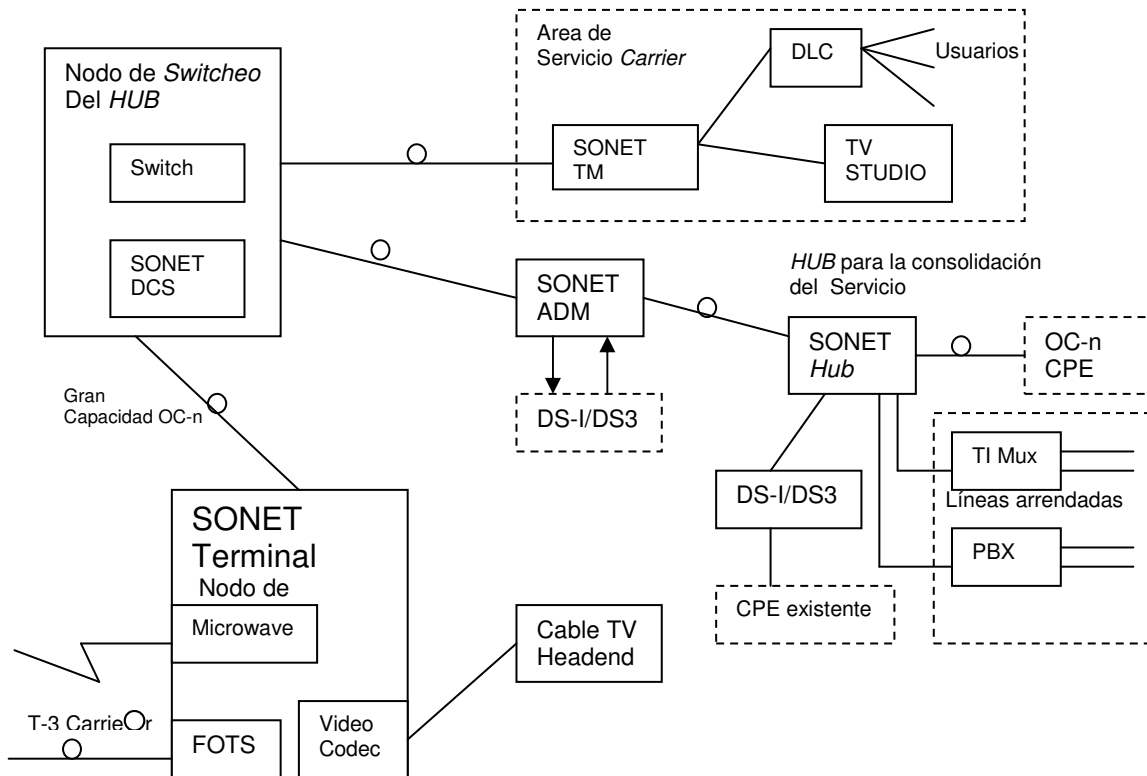
sido extendida a las otras ciudades por un número de razones, incluyendo costo, patrones de tráfico y densidades de usuario.

5.1.7 Red de acceso SONET

La mayoría de desarrollos de SONET por parte de los proveedores de servicio, especialmente los primeros, no empezaban como redes de larga distancia, redes regionales o redes de circuitos, especialmente cuando se trata de anillos SONET. La mayoría de desarrollos Tempranos de SONET estaban en el corazón de las áreas metropolitanas céntricas, y los anillos desde el principio. La intención era aprovechar los beneficios en general de SONET, y los beneficios de los anillos en particular, en la red de acceso. La red de acceso reúne el tráfico de un número de ubicaciones de clientes, cada una con servicios y requisitos distintivos, y lleva el tráfico a los nodos de *switches* del proveedor de servicio en las oficinas de servidor. Históricamente, la red de acceso ha sido la fuente de la mayoría de problemas con interrupciones de servicio.

Por lo tanto, SONET hace mucho sentido en la red de acceso. Esto es especialmente cierto cuando la nueva fibra esta siendo instalada y/o las rutas existentes se están cansando en términos de ancho de banda. SONET proveerá un medio no solo para soportar capacidades de red nueva en términos de protección y manejo, sino también para soportar servicios nuevos (por ejemplo, video). Hay tres escenarios principales para las redes de acceso SONET. Todos son ilustrados en la figura 43.

Figura 43 Una red de acceso SONET



En una simple configuración de punto a punto, en lugar de usar un vínculo de ganancia en pares para dar servicio CSA conteniendo sistemas DLC, se puede usar SONET. Esta situación es mostrada en la parte superior de la figura 43. El TM SONET puede soportar el sistema DLC y aun tiene mucho ancho de banda libre para soportar nuevos servicios como el video del audio de un televisor.

Vale la pena señalar que no se puede asumir que el usuario técnico sofisticado, como en los estudios de TV, residan en ambientes de totalmente negocios y zonas comerciales. Muchas comunidades permiten

un sistema de zonas de “alta tecnología” que permite a tales negocios operar cerca o incluso dentro de áreas de otra forma principalmente residenciales. En algunas áreas del país, urbanizaciones de casas y parques oficina están colocadas a intervalos tan cortos que la línea divisoria entre ellos es generalmente no más que una cerca. SONET ofrece una forma muy buena de alcanzar a ambos tipos de clientes, aun con diferentes necesidades de servicio, en una forma escalable y efectiva con relación a costo.

Otro tipo de arreglo de acceso es mostrado en la parte inferior derecha en la figura 43. En tal aplicación de *hub* o ADM, SONET puede transportar el tráfico del nodo de *switchero* a un TM en una ubicación de cliente teniendo un *hub* SONET. El ADM podría dar servicio a los DS-1 y DS-3 existentes en el camino, habilitándolos para aprovechar las capacidades de manejo, confiabilidad y las bajas escalas de error de bajos bits de SONET.

Por supuesto, la venta de servicios nuevos de T-*carrier* T podría continuar como antes, dándoles a los clientes servicios y tecnología conocidos y también permitiendo a estos clientes comprar equipo final de T-*carrier* T a bajo precio.

El *hub* SONET ofrece un medio de consolidar servicios separados en una manera efectiva en cuanto a costo. El *hub* puede soportar cualquier cliente con SONET OC-n CPE, aunque inicialmente estos pueden estar dispersos. Otros DS-1 y DS-3 pueden ser soportados también, con CPE existente, que es siempre atractivo para los clientes.

Estos clientes ni siquiera notan la llegada de SONET a un área. Finalmente, el existente PBX o multitransmisor T-1 de un cliente puede ser soportado por medio de líneas rentadas ordinarias, como antes, pero transmitido en SONET. Los ADM podrían ultimadamente ser conectados en un loop OC-n cerrado para crear un anillo SONET.

Por último, pero de ninguna forma menos, otro tipo de acceso SONET es mostrado en la parte inferior izquierda de la figura 44. Aquí, un vínculo SONET de capacidad mas alta (quizá un OC-48) puede ser usado para conectarse a otro nodo de switchheado SONET, pero con una función diferente. Este nodo podría tener acceso a una red celular o microondas e instalaciones FOTS existentes.

Más intrigantemente, especialmente en la era de no-regulación de servicio local, este nodo podría funcionar como el punto de entrada para una cabeza de televisión por cable; por lo tanto, SONET proveería la red de distribución para señales de video de televisión por cable. Es difícil imaginar cualquier otra tecnología además de SONET jugando bien este rol integrado.

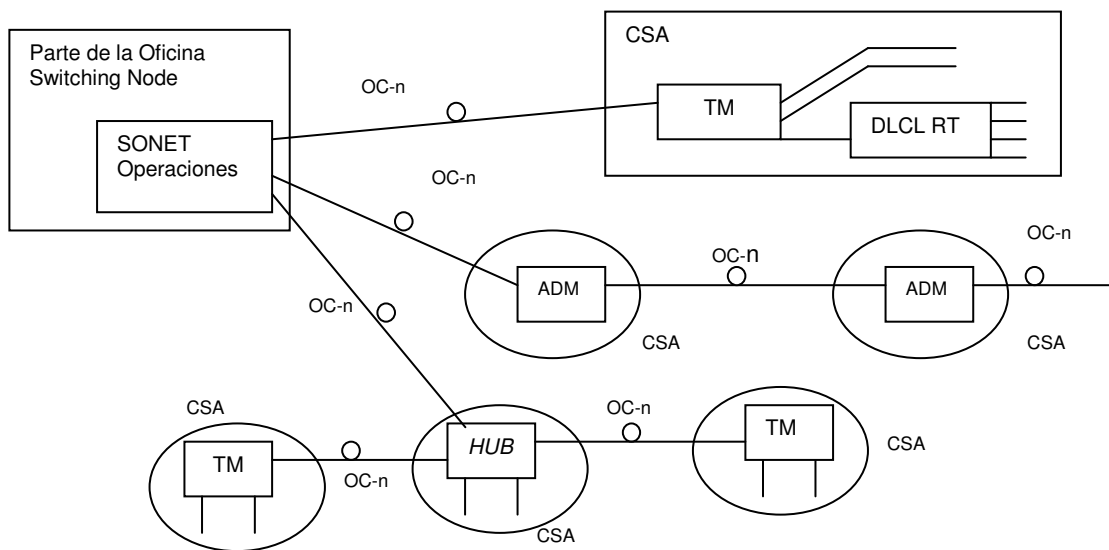
5.1.8 Arreglos de acceso SONET

La sección anterior presentó un aceptable arreglo de alternativas de acceso para SONET. Esto no implica, sin embargo, que se necesite

usar todos los tipos, o que algunos de ellos se volverán comunes. Así que este puede ser un buen momento para detallar exactamente que arreglos de acceso SONET serán vistos mas generalmente.

Como se puede ver en la sección anterior, SONET tiene muchos arreglos de acceso posibles. A pesar de eso, SONET será mayormente usado en la red de acceso en una manera relativamente rutinaria, al menos al inicio. SONET será usado ya sea para dar servicio a RT DLC existentes para proveer servicio a los usuarios POTS, o para proveer a los DS-1 y D-3, todos dentro de un CSA. Esto es ilustrado in la figura 44.

Figura 44 Arreglos de acceso SONET



No todos los sitios en un área de servicio pueden ser directamente alcanzables desde un servidor en una oficina determinada. Incluso la fibra SONET tiene limitaciones de distancia. En este caso, SONET puede ser usado en una configuración ADM directa, botando o agregando canales DS-0, DS-1, o incluso DS-3 en los sitios *hub* en el camino. Estos ADM remotos en ambientes difíciles pueden eventualmente circular de regreso al servidor de una oficina para formar un anillo SONET.

Un simple *hub* SONET puede desprenderse a varios arreglos TM SONET, típicamente en parques oficina o servir a grandes áreas de viviendas, otra vez botando canales DS-n en el camino.

5.1.9 Anillos SONET privados

No es solo para servicios de red pública por lo que los proveedores de servicio están ocupados desplegando anillos SONET en redes de acceso, sistemas de circuitos y similares. Dadas las circunstancias correctas, es también posible encontrar ejemplos de infraestructuras SONET totalmente privadas, dedicadas a un cliente grande.

La sencilla razón es que un número creciente de usuarios, así como aplicaciones tradicionales (por ejemplo, transferencias de archivos grandes) y necesidades nuevas (por ejemplo, videoconferencia), están forzando a muchas organizaciones a llevar al límite el ancho de banda

utilizado por sus redes. Alternativas para líneas privadas existentes como ATM y los *frame relay* están disponibles. Pero sería caro y requeriría mucho tiempo para una organización cambiar de un ambiente familiar de línea privada especialmente cuando las soluciones de línea privada han sido la regla más que la excepción.

La oferta de ATM y *frame relay* no soporta a veces el ancho de banda de acceso que se necesita (por ejemplo 45 Mbps) para mejorar el rendimiento de una aplicación a un precio razonable de acceso. ATM típicamente no está disponible en la fibra SONET, ni tampoco lo están los *frame relay*. Contrariamente, SONET es pura y simplemente lo que se refiere a más ancho de banda.

Ofrece una clara vía de migración para ancho de banda más grande con SONET, es relativamente fácil y barato ir de OC-3 (155.52 Mb por segundo) a OC-12 (622.08 Gb por segundo) e incluso a OC-48 (24 Gb por segundo).

Esta facilidad de migración a grandes velocidades movió a la *Miller Brewing Company de Milwaukee* a desplegar una infraestructura privada de anillos SONET para sus necesidades de red. *Miller* es la segunda planta más grande de procesamiento de bebidas en los Estados Unidos y la tercera más grande en el mundo con una producción anual de 45 millones de barriles (esto hace una cantidad de 19.5 billones de vasos de 12 onzas). El movimiento a un anillo SONET de alambre de cobre fue incitado por una necesidad de más ancho de banda para acomodar

usuarios adicionales y aplicaciones nuevas, y por la necesidad de una confiable prevención de desastres. La planta ha estado usando transporte central para sus *switchs* de *frame relay*.

Miller usa la red de anillo SONET en su *campus* de *Milwaukee* para todas las aplicaciones de datos diarios y aplicaciones de voz. Las aplicaciones de datos incluyen planilla, cuentas por cobrar y por pagar, así como más aplicaciones orientadas a negocios como controles internos, horarios de producción, y envíos.

El anillo SONET de *Miller* tiene todos los beneficios usuales de SONET aunque el anillo esta dedicado a *Miller*, tienen acceso a múltiples oficinas IXC para mas protección contra desastres para servicios *switcheados*. Como muchas organizaciones, la comunicación es vital para la compañía. La caída del sistema no es necesariamente fatal, pero la pérdida de datos o fallas largas pueden ser enormemente costosas.

Otro buen aspecto de SONET es la unión entre SONET y ATM.

Cuando llegue el momento en que *Miller* migre a ATM, que la compañía estima puede pasar en alrededor de tres años, el costo de actualizar en SONET será relativamente barato. SONET no esta limitado por ninguna restricción de ancho de banda. Las opciones de tecnología no necesitan más ser evaluadas en términos de ancho de banda disponible.

SONET es ultimadamente mas barato que otras arquitecturas. Muchos usuarios pueden recuperar cualquiera de los costos relacionados a una actualización SONET por medio de ahorros de red totales en tres a cinco años. Los usuarios con tráfico de datos extremadamente pesado pueden comparar fácilmente el costo por *megabit* para las redes SONET con costos de cobre. La fibra es realmente más barata que el cobre en muchos casos.

Ameritech, que supe el anillo, devuelve una porción del costo mensual de caída del sistema más grande que un minuto para esa sección del anillo.

5.1.10 Fibra SONET en acción

Debería ser obvio a estas alturas que el desarrollo SONET está íntimamente atado a la presencia o ausencia de fibra adecuada para las señales SONET. La buena noticia es que hay mucha fibra alrededor de los sistemas FOTS. La mala noticia es que en primer lugar esta fibra es aun usada para el tráfico FOTS (y generalmente llevada a su máxima capacidad de todos modos) y en segundo lugar esta fibra más antigua puede no ser adecuada para SONET. Los tipos y construcción de fibra han evolucionado aun más rápidamente que las velocidades SONET alcanzables. Por lo tanto, la mayoría de desarrollos SONET nuevos requieren nuevos desarrollos de fibra. Después de todo los planes agresivos de desarrollo SONET de la mayoría de proveedores de servicio

puede llevar a algunos a creer que, tarde o temprano, debería haber maquinas excavadoras buscando en cada pulgada cuadrada de los Estados Unidos.

Esto puede pasar eventualmente. Por ahora, hay varias formas de instalar rápidamente los conductos y cables de fibra necesarios para servicios SONET en una forma menos desordenada. Esta sección muestra brevemente las principales características de dos métodos, uno para corrientes de fibra subterránea y uno para corrientes de fibra subacuática, y las organizaciones responsables de estas técnicas avanzadas de instalación de conductos y fibra.

5.1.10.1 “*Raiblazers*”

El programa *Raiblazers* es el producto de SP *Construction Services*, una unidad de negocios de *Qwest Communications* de Denver. Ellos han tomado el arte de instalar fibra SONET a nuevas alturas. SP usa un “arado-riel” y mas de una locomotora para colocar la fibra en los conductos a lo largo de las líneas de tren alrededor del país, mayormente en las líneas férreas del sur-oeste han encontrado que sus tierras con pistas para fibra SONET son una fuente significativa de ingresos y, en algunos casos, produce mas ganancia para la compañía que la estructura rodante que corre por toda la línea.

El arreglo “*Raiblazers*” instala hasta ocho millas de fibra de múltiple hebra por día, en conductos que usan un arado de zanja montado

en los rieles, carros de conductos, suplemento de fibra, y dos vehículos. El arreglo excava la zanja, coloca los conductos y el cable de carretes muy grandes, y entierra todo en una operación suave. Tuberías galvanizadas son usadas para abarcar los puentes cuando el zanjeado no es viable. El sistema de conductos es bastante seguro, siendo enterrado a una profundidad de cuatro a cinco pies. Usando las tierras de las líneas del tren, usualmente con acceso patrullado y asegurado ya en el lugar por razones de seguridad, también protege la fibra de excavamientos no intencionales del contratista.

El sistema de fibra puede ser ajustado para abrir zanjas paralelas sin molestar las primeras. Fibras múltiples de varios proveedores de servicio, incluso competidores, pueden ser manejadas en la misma forma.

5.1.10.2 La flotilla AT&T

AT&T tiene una flotilla de “barcos de fibra” que colocan grandes cantidades de fibra SONET subacuática internacional, principalmente para “reemplazar” el sistema de satélite actualmente en uso en muchos casos. Los vínculos SONET terrestres tienen retrasos mucho más bajos que los satélites, así como radios de error de bits más bajos.

La fibra SONET subacuática, sin importar los niveles de protección, es aun suficientemente ligera para moverse en la orilla a los puntos de terminación con un personal de instalación de cuatro integrantes. Un arreglo sonar alerta al capitán de montañas y similares bajo el agua, y ajusta el “paso” en la fibra SONET que corre tras el barco.

Con los avances de fibra recientes, ya no hay repetidoras activas y potenciadas subacuáticas. Esto hace el proceso completo mucho más fácil. Las fibras SONET tienen un periodo de 13 años para fallar (MTTF) y extremos rotos, que son localizados por medio de reflectómetro óptico de dominio de tiempo (OTDR), empalmándolos de regreso. (La dificultad esta en encontrar el cable a millas bajo el mar).

Un beneficio secundario de este uso de SONET es hacer las líneas rentadas internacionales realmente posibles de pagar en muchos casos. Ya que SONET es la versión norteamericana de este estándar oficial internacional SDH, es relativamente fácil tener estos vínculos.

5.1.10.3 Cable de Arado

Considere el caso del norte de Nevada. En 1930, postes de secoya de 30 pies fueron llevados a través de las altas planicies, llevando las llamadas sin costo de costa a costa. Durante la Segunda Guerra Mundial, cable análogo para llamadas sin costo fue colocado entre edificios de repetidoras endurecidos contra bombas, pero el cobre aéreo permaneció. No era inusual para el personal de mantenimiento de líneas manejar 150 millas sólo para obtener una anchura de 50 millas de alambre sobre postes para darle servicio a unos pocos ranchos.

El reemplazo de estos alambres con fibra ha sido principalmente el trabajo de un hombre: *Art Brothers*, quien tomó el poder del mantenimiento del alambre de cobre porque AT&T le pidió hacerlo y

nadie mas quería el empleo. Hay tres intercambios con 100 clientes de un área de 107 millas de I-80. En 1992, quince millas de fibra fueron “aradas”. En 1995, once millas. Otras 52 millas fueron aradas en 1996, terminando al principio del invierno.

No son solo los elementos los que hacen el proceso de arado difícil. También son el \$1,000 por milla que se necesita para estudios históricos y culturales antes que el zanjeado pueda empezar.

Los restos del campo de trabajo chino de los días cuando la línea férrea fue construida no podían ser molestados. Sin mencionar el enjambre de estudiantes universitarios “escarbando” y ocultándose seis pies bajo tierra para ver si esas tajadas de material volteados hacia arriba por el arado de fibra eran de valor prehistórico.

La fibra de *Art Brothers* puede nunca ser usada para SONET. Pero el hecho de que esta allí y se puede usar si se necesita es un tributo a la ingenuidad del personal de planta externa en todos lados. Gracias por todos estos bits.

5.2 Aplicaciones SONET: ATM

ATM es el estándar internacional para la tecnología de control remoto de células. En el control remoto de células, la información es transportada a través de la red ATM en células de una longitud fija. ATM es el mecanismo de *switcheo* y multitransmisión para una red B-ISDN. SONET por su parte, esta diseñado para ser tecnología de acceso y

circuito para redes B-ISDN basada en ATM. Originalmente, los estándares B-ISDN fueron diseñados para contener las definiciones de servicio que eran usadas por los proveedores de servicio como la base para los contratos de servicio para servicios y tarifas privadas para servicios de redes publicas. Sin embargo, definiciones de servicio detalladas y descripciones funcionales nunca aparecieron para guiar a los proveedores de servicio en esta área. Por lo tanto, B-ISDN se ha debilitado por un número de años.

ATM en sí mismo ha tenido un éxito modesto como una tecnología alternativa de escritorio para las LAN de ancho de banda compartido como Ethernet. ATM ha sido mucho más exitoso como una tecnología central, pero en este sentido, ATM esta de alguna forma enmascarada de los usuarios y no se necesita considerar mas aquí este uso de ATM.

ATM, por lo tanto, es usado en otros ambientes de aplicación que no son B-ISDN públicos, es mas completamente definido, este debe ser el caso. La mayoría de aplicaciones ATM usan las definiciones básicas de servicios derivadas del foro ATM, a consorcio de vendedores enfrentado con tratar de llenar las brechas de servicio dejadas por B-ISDN en una base de intervalos de tiempo.

Por lo tanto, cuando se trata de vincular switch's ATM con vínculos y anillos SONET, las arquitecturas usadas son bien consistentes. Por ejemplo, algunos vendedores de equipo LAN van a usar ATM en un *hub* o router LAN. El cliente LAN en si mismo puede usar ATM directamente

para el escritorio, en cuyo caso cada dispositivo de escritorio necesita su propia tarjeta de interfase ATM, usualmente operando a 155 Mbps o incluso a 622 Mbps (note la alineación con las velocidades SONET). Mas probablemente, la LAN en si misma esta corriendo alguna tecnología LAN de alta velocidad que no es ATM, tal como Fast Ethernet a 100 Mbps, o incluso *Gigabit* Ethernet.

ATM es usado como tecnología WAN de alta velocidad porque no hay tecnología LAN de alta velocidad que vincule sitios de todo el país. En cualquier caso, el problema se vuelve ahora uno de vincular efectivamente los switch's ATM adjuntos a las LAN en diferentes ubicaciones. Después de todo, tiene poco sentido usar ATM como una tecnología LAN o WAN de alta velocidad cuando el tráfico debe ser guiado a través de vínculos de baja velocidad de 56 o 64 Kbps. Las líneas rentadas de SONET pueden ser usadas, por supuesto, pero tan inmensas cantidades de ancho de banda serán caras cuando se usen exclusivamente para un cliente, entonces probablemente prohibidas.

El uso de anillos SONET para interconectar switch's ATM es mostrado en la figura 45.

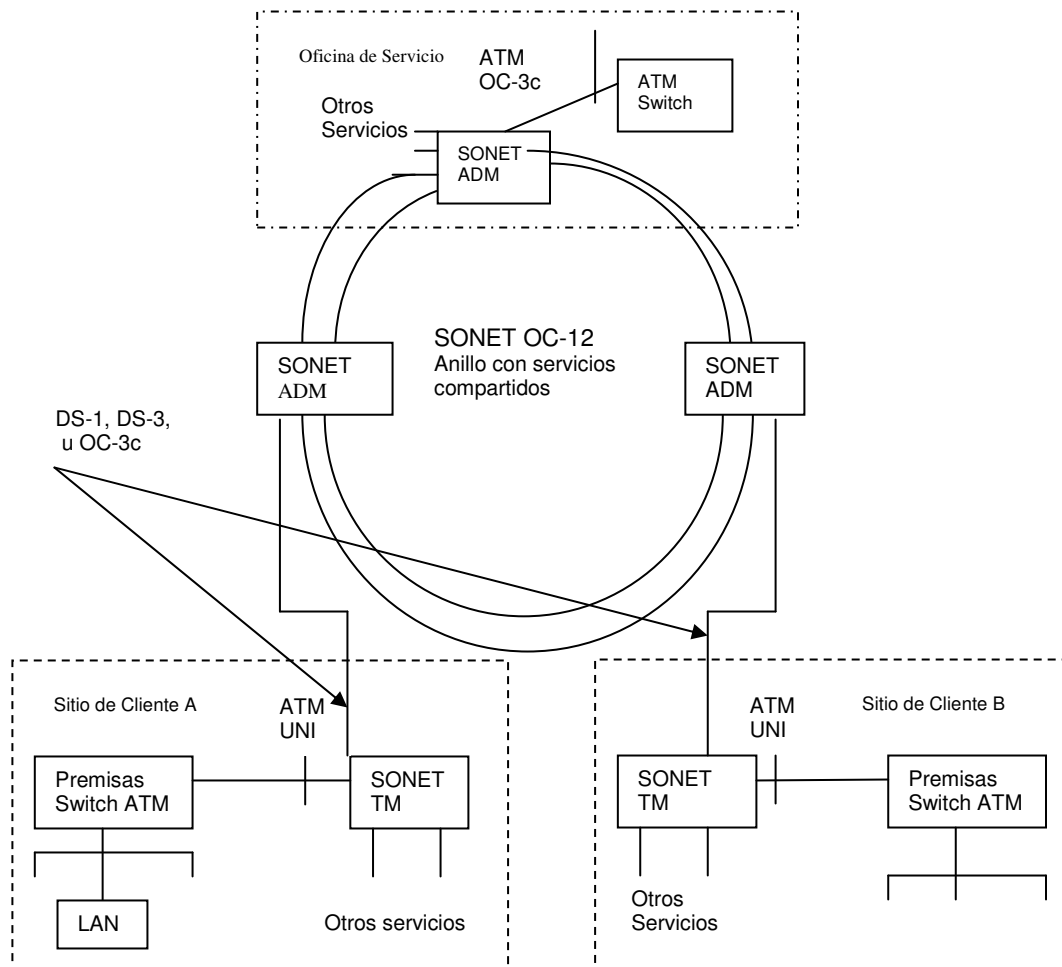
En la figura 45 un proveedor de servicio con un anillo SONET ha enlazado los switch's ATM de las premisas del cliente a un anillo SONET y por tanto, ha proveído la conexión deseada. El anillo tiene mas que suficiente ancho de banda para satisfacer las necesidades de ancho de banda de muchos clientes, especialmente ya que el anillo en la figura es

un aro OC-12. Si el cliente desea cumplir con las especificaciones de los B-ISDN y ATM existentes, el vinculo de acceso al anillo debe ser OC-3c o más rápido.

En la figura 45, este acceso es mostrado corriendo desde un TM SONET en las premisas en cada ubicación.

Técnicamente, este TM seria CPE SONET y, por lo tanto, podría ser la opción del consumidor, porque los estándares SONET permiten la interoperabilidad del vendedor.

Figura 45. SONET Como transporte ATM



Note que otros servicios además de la conectividad ATM podrían ser proveídos por el TM SONET en el sitio del cliente.

Estos no tienen que ser servicios ATM, por supuesto, y podrían ser muchas formas de aplicaciones tradicionales de datos y voz, así como multimedia o videoconferencia y así sucesivamente.

Una alternativa a este método de usar SONET para transporte ATM sería suplir la conectividad LAN ATM simple a través de un T-1 fraccional, T-3 fraccional DS-1, o un enlace DS-3 completo para el terminal multitransmisor SONET de los proveedores de servicio. Esto no requeriría equipo SONET ubicado en las premisas del cliente, y la mayoría de usuarios están bastante cómodos con el T *carrier*. El TM del proveedor de servicio estaría ubicado en un anillo SONET.

Note también que si el anillo es conectado a una oficina servidor con un switch ATM de sí mismo, los varios servicios ATM podrían ser ofrecido a las LAN ATM equipadas para recibirlo (la mayoría de las PCs mas nuevas manejarían esto fácilmente). Esto por supuesto, abre toda clase de nuevas fuentes de ingreso para los proveedores de servicios. Sin embargo, no se espera que este arreglo se vuelva común, no mientras los proveedores de servicio esperen a ver exactamente que tan común se vuelve el equipo ATM con los clientes potenciales.

5.3 Aplicaciones SONET: Interconexión LAN

La popularidad de ATM es aun un asunto abierto. No muchas aplicaciones SONET adecuadas están ligadas a ATM en ninguna forma. La vasta mayoría de clientes LANs son indiferentes a ATM, y se posicionan a sí mismos como alternativas viables para ATM en cualquier caso; Fast Ethernet a 100 Mbps es un buen ejemplo.

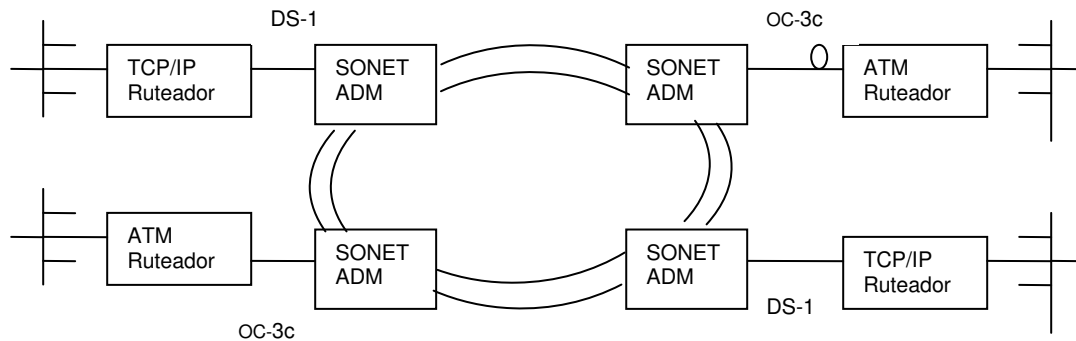
Otra buena aplicación para el ancho de banda que SONET provee es la interconexión LAN. Las LAN hoy en día ya no están restringidas a las antiguas Ethernets y *token ring* de 4, 10, y 16 Mbps. La rápida Ethernet de 100 Mbps ha llegado, y 1 Gbps (1,000 Mbps) la Ethernet *Gigabit* esta apareciendo. (Se debe señalar que las estructuras Ethernet *Gigabit* pueden ser puestas directamente en fibra y no se requiere de SONET). Aun sin aparear estas enormes velocidades LAN, la entrega de interconexión LAN en anillos vi direccionales de fibra 4 *switcheados* en línea (BLSR) tiene mucho que ofrecer al cliente.

El escenario para la ínter conectividad LAN es mostrado en la figura 46. Note que aun en este esquema, la presencia de LAN y routers ATM no esta excluida. La mayor diferencia es que el proveedor de servicio esta solamente equipando el transporte pasivo del trafico ATM

de un cliente, no procesando o incluso interrumpiéndolo en ninguna forma. Cualquier ATM funcionalmente debe ser proveída por el CPE ATM, que puede ser realmente un “plus” desde la perspectiva del cliente.

Cuando el DS-1, u otro vinculo de velocidad, tal como el T-3 fraccional es soportado y llevado en los BLSR, debería haber pocos errores y fallas de servicio. Extrañamente, el DS-2, una oferta de T-*carrier* nunca común o popular, parece que esta respondiendo como una velocidad traída por estos anillos SONET. A alrededor de 6 Mbps, DS-2 es un buen comienzo para las LANs Ethernet operando a 10 Mbps. Para todos los clientes que necesitan velocidades mas altas para vincular sus LANs, ya sea con LANs y routers ATM o solo versiones más rápidas de Ethernet, los BLSR SONET son realmente el medio practico de entrega para ínter conectividad LAN en una manera efectiva con relación a costo.

Figura 46. Anillos SONET para Ínter conectividad LAN



Note que los routers TCP/IP existentes de los clientes aun soportan interfaces tradicionales Tcarrier. Esto reduce el gasto del cliente porque no hay necesidad de migrar a interfaces OC-n SONET, y

permite al cliente mantener la familiaridad de trabajar con interfaces Tcarrier.

No debería ser necesario cambiar ningún software de manejo de red usado para propósitos internos, sin importar la presencia agregada del anillo SONET.

5.4 Aplicaciones SONET: Video y Graficas

Suficiente se ha dicho, al principio de este documento, acerca de las demandas de ancho de banda de aplicaciones de video y gráficas. No se necesita repetir aquí.

Vale la pena un breve resumen de lo que los usuarios están haciendo para poner tales cargas en las LANs y WANs. Los usuarios corren muchas aplicaciones que pueden y cargan pesadamente las LANs y WANs. Aquí hay una vista resumida a las demandas de dos tipos de aplicaciones muy comunes en las LANs. A finales de los 1980s, una vez que la pantalla del monitor de la PC se liberó de las severas limitaciones impuestas por las interfaces del sistema basado en texto DOS y UNIX, las aplicaciones comenzaron a incluir técnicas sofisticadas para desplegar imágenes que hacían que los ojos saltaran y gráficas de mapas de bits en la pantalla del monitor. La disponibilidad de pantallas no entrelazadas de alta resolución a un precio razonable le dio combustible a este movimiento.

Hoy, muchas compañías de seguros e instituciones financieras incluyen datos visuales en la forma de fotografías digitales o documentos escaneados como parte de sus aplicaciones.

Estos pueden aun estar guardados como parte de la base de datos, como un tipo de campo básico. Estas imágenes, aun comprimidas, pueden ser muy grandes.

Por ejemplo, una imagen medica de rayos X, puede ser representada por un arreglo de 4,000 por 4,000 bits. Cada pixel de la “escala de grises” esta codificado por 8 bits. Esta imagen de 4k por 4k por 8 bits produce alrededor de 128 Mbits o 16 Mbytes de datos a ser transferidos a través de la red. Un vínculo típico de Internet de 14.4 Kbps con una escala de transferencia de 1,500 bytes por segundo necesitaría mas de 10,000 horas para enviar esta imagen de un centro medico a otro. A través de una red de alta velocidad operando a 150 Mbps, como un vínculo OC-3c SONET, la transferencia tomaría un segundo o algo así.

La industria de las publicaciones es otro gran usuario y generador de inmensos archivos de gráficas. Estos archivos representan los anuncios vistos en cualquier revista atractiva de hoy en día. Tales archivos están hechos a 2,400 puntos por pulgada cuadrada. No usan 256 colores, sino que 16 millones de colores. Aun comprimidos, los archivos de cientos de *megabytes* de tamaño son comunes.

Cuando la gráfica o imagen demanda cambios a través del tiempo – crear una animación o secuencia de video –el tamaño del archivo crece más rápidamente. Una compañía “*rendering*” relativamente modesta (este proceso de evolución gráfica es conocido como “*rendering*”) o trabajadores similares pueden sobrecargar aun una Ethernet de 10 Mbps bastante fácil con imágenes fluyendo frecuentemente entre clientes y servidores.

Sin embargo, cuando se vinculan dos LANs de 10 Mbps conectadas con puentes o routers a través de un circuito dedicado de línea rentada de punto a punto a 64 Kbps, este creará automáticamente un cuello de botella más grande que 100:1 (redondeando 64 Kbps a 100 Kbps, entonces $1000 \text{ Kbps} / 100 \text{ Kbps} = 100$). Claramente, muchos de los archivos y gráficas no pueden usarse adecuadamente en un ambiente cliente-servidor con un vínculo con velocidad de 64 Kbps. La imagen médica enviada a través de esta red de un servidor LAN del hospital a otro cliente LAN en otro hospital tomará ahora más de 11 horas ($7 \text{ minutos} \times 100 = 700 \text{ minutos} > 11 \text{ horas!}$) Ojalá que el paciente espere.

Incluso a velocidades DS-1, 1.5 Mbps o algo así, este es un cuello de botella 6:1. Esto corta el retraso de transferencia de archivo a “solamente” 42 minutos o algo así, pero es aun penosamente inadecuado para construir redes cliente-servidor a nivel de compañía que abarquen el país.

Aun así, los DS-1d han sido ampliamente abrazados como la opción de inter conectividad LAN, al grado que más de 3,000 corporaciones en los Estados Unidos hoy en día tienen al menos un DS-1.

Por lo tanto, la búsqueda es por una forma más eficiente y efectiva tanto para implementar tecnologías LAN y las WANs que las conecten.

Últimamente, otra clase de aplicación ha demandado la atención de la comunidad cliente-servidor. Este tipo de aplicaciones no solo demanda altos anchos de banda, pero bajos de retrasos de la red.

La nueva clase de aplicaciones incluía video (por ejemplo, gráficas animadas o secuencias de cuadros en completo movimiento) como una parte integral de la aplicación. Usualmente llamada multimedia para reflejar el hecho que estas aplicaciones consisten en y llevan información que no es meramente leída, pero que es vista y escuchada, estos nuevos tipos de aplicaciones multimedia comenzaron a surgir a principios de los 1990s. La multimedia también le puso riendas a las estaciones LAN, que más o menos limitaron su despliegue en plataformas de hardware basadas *chipsets* 80286 con solamente 1 *Mega* o algo así de memoria.

Una vez que los *chipsets* 80386 se volvieron comunes, y los tamaños de memoria crecieron al rango de 2 a 4 *Megas*, las aplicaciones multimedia se volvieron posibles. Hoy, por supuesto, con Pentium de 750 a 1000 MHz y otros chips, el problema es la multimedia en una distribución WAN determinada.

Si las gráficas y las aplicaciones de imágenes produjeron grandes archivos que estiraron los *hard drives* de las PCs y las LANs a sus límites, agregar video a otras aplicaciones solo empeoró las cosas. El video en una PC funciona representando una serie de imágenes, llamadas cuadros, en rápida secuencia en la pantalla del monitor de la PC, usualmente en un ambiente Windows. Por supuesto, así es exactamente como funcionan también la TV y las películas. La suavidad del movimiento depende de que tan rápido cambie la secuencia. Para video PC, esto puede variar de 3 cuadros por segundo (con cambios muy abruptos) a algo que se mira suave y que puede tomar fácilmente hasta 10 *megabytes* del espacio del disco duro.

Agregarle video a las aplicaciones también le dio cierta tensión a las LAN. De hecho, se probó que era tan difícil transferir archivos de video a través de las LAN que casi todos los videos vienen directamente de una unidad de CD-ROM en la computadora. La dificultad principal no estaba mucho en términos de ancho de banda: comparados con los grandes archivos de imágenes y gráficas de alta resolución, los videos de escalas de cuadros bajas pusieron demandas relativamente modestas en las LAN, el problema probó ser el retraso variable en llevar los cuadros de video de un servidor a un cliente particular. Por ejemplo, al desplegar cuadros de video a una escala de 10 por segundo.

La LAN no puede transmitir 8 cuadros en un segundo, y luego 12 en el siguiente segundo, aunque el resultado neto es aun 10 cuadros por segundo. Este concepto de jito cronicidad (por ejemplo, las cosas en la red deben pasar con un retraso consistente) es un concepto importante, especialmente cuando se aplica a redes de gran ancho de banda.

Hay una distinción importante entre ancho de banda y retraso cuando se consideran redes de alta velocidad. La confusión viene cuando se habla de ambos conceptos en términos de “velocidad”. El ancho de banda grande es una medida de la cantidad de tiempo entre la llegada del primer bit a cualquier lugar en la red y la llegada del último bit a ese lugar. Retraso bajo es una medida de la cantidad de tiempo entre la salida del primer bit de la fuente en la red y la llegada de este primer bit al receptor.

Vale la pena enfatizar el punto acerca de la variabilidad de retrasos en algunas redes, especialmente LANs tipo Ethernet y WANs basadas en routers. Algunas aplicaciones, como voz y video, no pueden tolerar más de unos pocos milisegundos de variación en el retraso a través de una red. De otra forma, el receptor asumirá que algo anda mal y dará los pasos para reaccionar. Esto ha sido históricamente un problema en el conflicto de décadas para “empaquetar la voz”, esto es, enviar muestras de voz digitalizadas a través de la misma red mientras esta es usada para transmitir datos.

El problema es que las muestras de voz se retrasan cantidades variables de tiempo posterior a un gran paquete de datos; por lo tanto, el receptor no funcionara correctamente.

SONET, que es enormes anchos de banda, retrasos estables (los vínculos son esencialmente líneas rentadas), y alta confiabilidad y disponibilidad, ofreció la mejor esperanza para correr productivamente estos tipos de aplicaciones a través de una WAN (otras soluciones existen hoy que usan DWDM y *Ethernet Gigabit*).

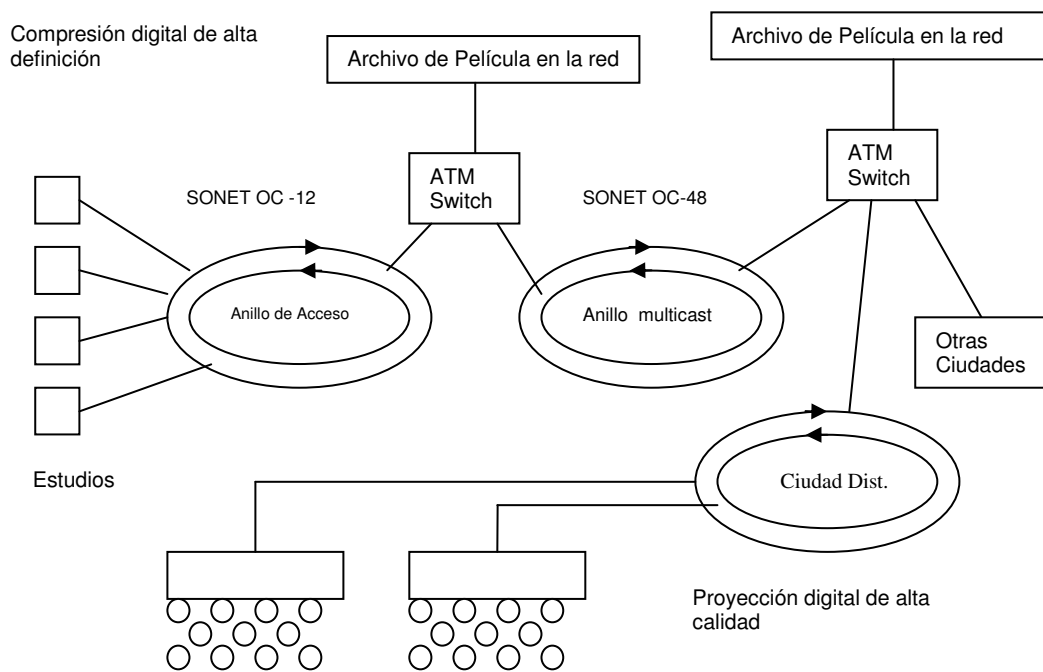
5.5 Aplicaciones SONET: Cinema del futuro

Una de las aplicaciones más emocionantes para SONET es hacer cosas que nunca fueron posibles antes. Por ejemplo, los *switch's* ATM pueden ser combinados con SONET para traer las grandes películas a las pantallas del cine.

Un molesto problema en la industria del cine es que si una sala de cine tiene solamente una pantalla mostrando una película repentinamente popular, o dos pantallas mostrando una película repentinamente “muerta”, ¿cómo puede manejarse esta situación con gracia? Por ejemplo, en lugar de alejar a los clientes, ¿porque no simplemente agregar otra pantalla en una sala de cine que de otra forma estuviera casi vacía? ¿Por qué mostrar el mismo espectáculo en dos salas de cine cuando se puede en una?

Esto es imposible hoy en día, pero puede no serlo si la Asociación de Películas de los Estados Unidos busca una forma. Su plan esta ilustrado en la figura 47.

Figura 47. Cinema del Futuro



Justo ahora, las películas son usualmente distribuidas en cinco o seis estuches que contienen los rollos que serán rodados en los proyectores. Así se ha hecho desde los 1950s. Sin embargo, si las películas fueran digitalizadas (la mayoría de películas ya contiene una cantidad variable de “efectos especiales” digitales), podrían ser “bajadas” directamente de los estudios o sacadas de los archivos de video. Este proceso es mostrado en la figura 47.

Los estudios no producirían películas sino bits. Los bits serían guardados en un formato digital de alta definición, y altamente comprimidas hasta que la estructura fuera completada. Cuando se estrenara, el estudio simplemente enviaría el video a un anillo de acceso PC-12 SONET y a través de un switch ATM. El switch podría archivar la película para permitir diferentes zonas horarias y otros aspectos. Al mostrarla, la película sería multitransmitida en un anillo OC-48 SONET. Otros switch's ATM distribuirían la señal a varios anillos en ciudades en todo el país, donde las salas de cine estarían enlazadas por múltiples líneas de acceso OC-12. Los switch's de multitransmisión ATM podrían distribuir estas corrientes de video a vastos números de salas de cine simultáneamente, potencialmente en todo el país. Esto incluiría el desarrollo de técnicas de compresión digital de alta definición y técnicas de proyección digital de alta definición, pero el ingreso potencial es tal que esto es exactamente lo que podría pasar pronto, SONET ya no es requerido para distribuir las películas de esta forma, pero aun podría tener un rol.

CONCLUSIONES

1. La red óptica sincrónica, SONET, *Synchronous Optical Network* originalmente propuesto por Bellcore -*Bell communication research* - normalizada por ANSI -*American National Standarization Institute*- define UN estándar para señales ópticas, una estructura de trama para el multiplexado de trafico digital y un trafico de [operaciones](#).
2. Sonet se ideo para proporcionar una especificación que aproveche las ventajas que proporciona la transmisión digital de alta [velocidad](#) a través de fibra óptica.
3. La infraestructura subyacente proporcionada por la red óptica sincrona (SONET) o la jerarquía digital sincrona (SDH) desplegó encima de fibra de [banda ancha](#) ya que el interés a crecido ejecutando el IP directamente encima de SONET, en lugar de usar una red de [ATM](#), aumentando la [eficacia](#) del sándwich.

4. SONET es, por lo tanto, una tecnología de la capa [física](#) diseñada para proporcionar una transmisión universal y los [multiplexores](#) forman planos, con proporciones en la transmisión del Gigabyte por segundo funcionamiento sofisticados y [sistemas](#) de [dirección](#). Esta tecnología es regularizada por las [normas](#) nacionales americanas instituya (ANSI) T1 comité. Una tecnología parecida es el SDH es regularizada por la unión de las [telecomunicaciones](#) internacionales (ITU) y es muy similar a SONET solo que su jerarquía del multiplexado es una jerarquía de SONET.
5. La tecnología SONET es muy robusta y segura, conteniendo mecanismos integrados para proveer 99.99% de disponibilidad de la red.
6. La enorme ventaja de la SONET es que permite a los operadores introducir nuevas tecnologías a sus redes tradicionales SONET reemplazando sus elementos de red perimetrales. Con esta capacidad, tanto los servicios TDM como los orientados a paquetes son manejados eficientemente en la misma longitud de onda. Además, hay mejoras significativas, en el modo en que las redes SONET manejan el ancho de banda para información en paquetes así como granularidad mas grande mientras se mantiene las funciones críticas de redes TDM tradicionales.

7. La flexibilidad de la SONET permite a los operadores de red construir una red usando plataformas para multiservicios híbridos TDM/paquetes o proveer solo la transmisión fundamental de tramas de bits lineales.

8. Con la transición de la industria de las telecomunicaciones, el énfasis de los operadores es cumplir con las necesidades del cliente con ajustado presupuesto. La SONET no sólo es rentable sino que aumenta las capacidades de las redes tradicionales. Al integrar redes de nueva generación a redes tradicionales se tienen mayor latencia, calidad y disponibilidad de servicio, pero algunas pruebas y monitoreo se utilizan para asegurar que la mezcla de tecnología puedan proveer la demanda creciente de ancho de banda.

RECOMENDACIONES

1. Cuando es necesaria tecnología capaz de distribuir comunicación de voz, datos y videos es aconsejable el uso de la Red óptica síncrona (SONET) ya que, aprovecha las ventajas de utilizar la tecnología de la fibra óptica que puede transmitir datos por encima de un *gigabit* por segundo (Gbps).
2. Confiabilidad: SONET es un estándar para transporte óptico que fue formulado por la Asociación de estándares de proveedores de servicio de intercambio ECSA; *Exchange Carriers Standars Association*, para ANSI. Además, SONET se ha incorporado en las recomendaciones de la Jerarquía digital síncrona de la CCITT, también conocida como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) que establece los estándares para las telecomunicaciones internacionales.
3. SONET utiliza una tasa de transmisión básica STS-1 equivalente a 51,84 Mbps. No obstante, se pueden lograr señales de más alto nivel siendo estas señales múltiplos enteros de la tasa básica. Por ejemplo, STS-3 es tres veces la tasa de STS-1 ($3 \times 51,84 = 155,52$ Mbps). Una STS-12 sería una tasa de $12 \times 51,84 = 622,08$ Mbps.

4. SONET proporciona suficiente flexibilidad de carga útil que se puede utilizar como nivel de transporte fundamental para las celdas ATM de BISDN. BISDN es una red RDSI estándar que puede controlar servicios de voz, datos y vídeo. ATM es el estándar de CCITT que admite celdas para la comunicación de voz, datos, vídeo y multimedia en una red pública bajo BISDN. El Forum de ATM se está convirtiendo, junto con SONET, en el nivel de transporte para el tráfico basado en celdas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Black Uyles. **Tecnologías Emergentes Para redes de Computadoras.** 2ª Edicion.(Editorial Prentice may)
2. Goralski Walter J. **SONET** (2ª Edicion, Editorial McGraw-Hill,2000) p. 673
3. Goralski Walter J. ADSL and DSLTechnologies (Editorial McGraw-Hill, 1999)p.568
4. ITU-T Recomendaciones G.652, “**Characteristics of a Single Mode Optical fibre Cable**” Oct 2000
5. ITU-T Recomendaciones G.692 “**Optical Interfaces for Multi-Chanel Systems with optical amplifiers,**”Oct. 1998.
6. Kartalopoulos Stamatios V. **Next Generation SONET/SDH Voice and Data,** (IEEE Press Editorial Board,2004) p 189.
7. Kartalopoulos Stamatios V. **Understanding SONET/SDH,** (IEEE Press Editorial Board,2002) p 189.
8. Metz, Christopher Y. IP switching Protocols and Architecture, (Editorial McGraw Hill,1999)p 378
9. Moreno Vozmedian Rafael: **Redes de área local,**(Grupo Editorial Belenger) p 325.
10. Sexton Mike , Reid: **BroadBand Networking: ATM, SDH, and SONET,** (Editorial Artech Housse, 1997) p 450.

11. Shepard Steven: SONET/SDH DEMYSTIFIED,(Editorial McGraw Hill,2001) p 378.
12. Spohn L. Darren, Brown Tina y Grau Scott: Data Network Design (3a Edicion, Editorial McGraw-Hill,2002)p 848.

Bibliografia Electronica

1. IEEE 802.3ah Ethernet First Mile Task Force, www.ieee802.org/3/efm,2/2003
2. Optical Switches go Acoustic. **Light Reading;** WWW.LIGHTREADING.COM; Junio 20,200